

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-050507

(43)Date of publication of application : 15.02.2002

(51)Int.Cl.

H01F 1/06  
B22D 11/06  
B22F 1/00  
B22F 3/00  
B22F 9/04  
C22C 1/02  
H01F 1/08

(21)Application number : 2000-232488

(71)Applicant : SEIKO EPSON CORP

(22)Date of filing : 31.07.2000

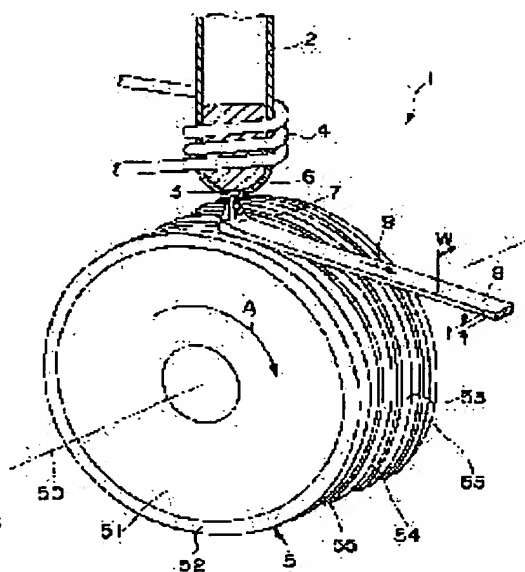
(72)Inventor : ARAI SEI  
KATO HIROSHI

## (54) METHOD OF MANUFACTURING MAGNET POWDER, THE MAGNET POWDER, AND BONDED MAGNET

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide magnet powder, from which a magnet having a superior magnetic characteristic and high reliability can be manufactured and to provide a bonded magnet.

**SOLUTION:** A quenched thin belt manufacturing device 1 is provided with a cylindrical body 2, a heating coil 4, and a quenching roll 5. At the lower end of the cylindrical body 2, a nozzle 3 which ejects molten magnet alloy 6 is formed. The quenching roll 5 is constituted of a base roll material 51 and a surface layer 52. In addition, on the peripheral surface 53 of the roll 5, gas flow passages 54 are formed as a degassing means. A quenched thin belt 8 is manufactured, through quenching and solidifying the molten alloy 6 ejected from the nozzle 3 by bringing the molten alloy 6 into collision with the peripheral surface 53 of the roll 5 in an inert gas (atmospheric gas), such as helium gas, etc. When the molten alloy 6 is brought into collision with the peripheral surface 53, though the gas infiltrates into the space between the surface 53 and a paddle 7, the gas is discharged from the space through the flow passages 54. The magnet powder is obtained by pulverizing the thin belt 8. The relation of  $P < D$  is established between mean particle diameter  $D$   $\mu\text{m}$  of the powder and average pitch  $P$   $\mu\text{m}$  of the flow passages 54.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-50507

(P2002-50507A)

(43) 公開日 平成14年2月15日 (2002. 2. 15)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード* (参考)
H 0 1 F 1/06		B 2 2 D 11/06	3 6 0 B 4 E 0 0 4
B 2 2 D 11/06	3 6 0		3 7 0 B 4 K 0 1 7
	3 7 0	B 2 2 F 1/00	C 4 K 0 1 8
B 2 2 F 1/00			B 5 E 0 4 0
		3/00	C

審査請求 未請求 請求項の数34 O L (全 24 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-232488 (P2000-232488)

(22) 出願日 平成12年7月31日 (2000. 7. 31)

(71) 出願人 000002369

セイコーエプソン株式会社

東京都新宿区西新宿2丁目4番1号

(72) 発明者 新井 聖

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

(72) 発明者 加藤 洋

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

(74) 代理人 100095728

弁理士 上柳 雅彦 (外1名)

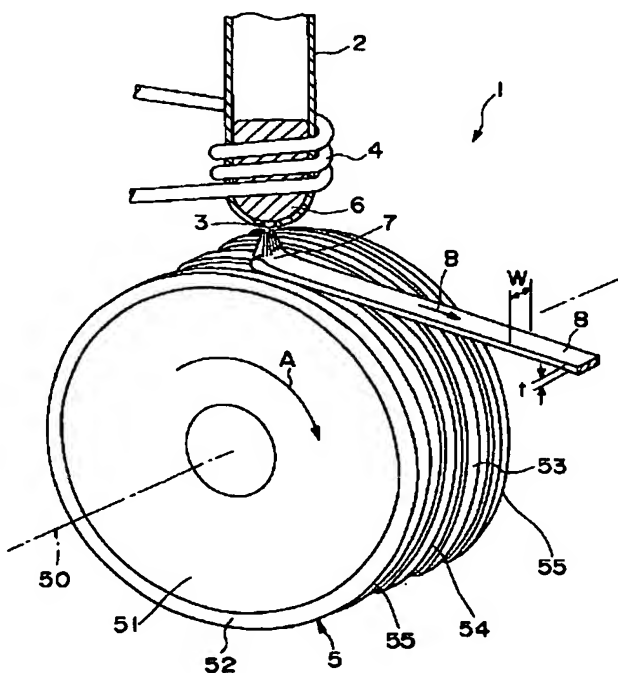
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁石粉末の製造方法、磁石粉末およびボンド磁石

(57) 【要約】

【課題】 磁気特性が優れ、信頼性に優れた磁石を提供することができる磁石粉末およびボンド磁石を提供すること。

【解決手段】 急冷薄帯製造装置1は、筒体2と、加熱用のコイル4と、冷却ロール5とを備えている。筒体2の下端には、磁石合金の溶湯6を射出するノズル3が形成されている。冷却ロール5は、ロール基材51と、表面層52とで構成されている。また、冷却ロール5の周面53には、ガス抜き手段としてのガス流路54が設けられている。急冷薄帯8は、ヘリウムガスのような不活性ガス（雰囲気ガス）中で、溶湯6をノズル3から射出し、冷却ロール5の周面53に衝突させ、冷却固化することにより製造される。この場合、冷却ロール5の周面53とパドル7との間にガスが侵入するが、ガス流路54により、このガスは、周面53とパドル7との間から排出される。磁石粉末は、急冷薄帯8を粉砕することにより得られる。磁石粉末の平均粒径を $D\mu\text{m}$ 、ガス流路54の平均ピッチを $P\mu\text{m}$ としたとき、 $P < D$ の関係が成り立つ。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 磁石合金の溶湯を回転する冷却ロールの周面に衝突させ、冷却固化することにより急冷薄帯を得、該急冷薄帯を粉砕することにより、磁石粉末を製造する方法であって、

前記冷却ロールの前記周面に、ガス抜き手段としてのガス流路が形成されており、その平均ピッチを  $P \mu m$ 、前記磁石粉末の平均粒径を  $D \mu m$  としたとき、 $P < D$  の関係を満足することを特徴とする磁石粉末の製造方法。

【請求項 2】 前記磁石粉末の平均粒径  $D$  は、 $5 \sim 300 \mu m$  である請求項 1 に記載の磁石粉末の製造方法。

【請求項 3】 前記ガス流路の平均ピッチ  $P$  は、 $0.5 \mu m$  以上  $100 \mu m$  未満である請求項 1 または 2 に記載の磁石粉末の製造方法。

【請求項 4】 前記ガス流路の平均幅は、 $0.5 \sim 90 \mu m$  である請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載の磁石粉末の製造方法。

【請求項 5】 前記ガス流路の平均深さは、 $0.5 \sim 20 \mu m$  である請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の磁石粉末の製造方法。

【請求項 6】 前記ガス流路の平均幅を  $L_1$ 、平均深さを  $L_2$  としたとき、 $0.5 \leq L_1 / L_2 \leq 1.5$  の関係を満足する請求項 1 ないし 5 のいずれかに記載の磁石粉末の製造方法。

【請求項 7】 前記冷却ロールは、ロール基材と、その外周の全周に設けられた表面層とを有し、前記表面層に前記ガス流路が形成されたものである請求項 1 ないし 6 のいずれかに記載の磁石粉末の製造方法。

【請求項 8】 前記表面層の構成材料は、前記ロール基材の構成材料の室温付近における熱伝導率より低い熱伝導率を有するものである請求項 7 に記載の磁石粉末の製造方法。

【請求項 9】 前記表面層の構成材料の室温付近における熱伝導率は、 $80 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$  以下である請求項 7 または 8 に記載の磁石粉末の製造方法。

【請求項 10】 前記表面層は、セラミックスで構成される請求項 7 ないし 9 のいずれかに記載の磁石粉末の製造方法。

【請求項 11】 前記表面層の厚さは、 $0.5 \sim 50 \mu m$  である請求項 7 ないし 10 のいずれかに記載の磁石粉末の製造方法。

【請求項 12】 前記表面層は、その表面に機械加工を行わないで形成されたものである請求項 7 ないし 11 のいずれかに記載の磁石粉末の製造方法。

【請求項 13】 前記ガス流路の長手方向と、冷却ロールの回転方向とのなす角は、 $30^\circ$  以下である請求項 1 ないし 12 のいずれかに記載の磁石粉末の製造方法。

【請求項 14】 前記ガス流路は、前記冷却ロールの回転軸を中心とする螺旋状に形成されたものである請求項 1 ないし 13 のいずれかに記載の磁石粉末の製造方法。

【請求項 15】 前記ガス流路は、前記周面の縁部に開口しているものである請求項 1 ないし 14 のいずれかに記載の磁石粉末の製造方法。

【請求項 16】 前記周面上における前記ガス流路の占める投影面積の割合が  $10 \sim 99.5\%$  である請求項 1 ないし 15 のいずれかに記載の磁石粉末の製造方法。

【請求項 17】 前記薄帯状磁石材料は、前記冷却ロールと接触した側の面の少なくとも一部に、前記冷却ロールの前記周面の形状が転写されたものである請求項 1 ないし 16 のいずれかに記載の磁石粉末の製造方法。

【請求項 18】 請求項 1 ないし 17 のいずれかに記載の方法により製造されたことを特徴とする磁石粉末。

【請求項 19】 磁石粉末は、その表面の少なくとも一部に複数の凸条または溝を有するものである請求項 18 に記載の磁石粉末。

【請求項 20】 磁石粉末の平均粒径を  $D \mu m$  としたとき、前記凸条または前記溝の平均長さは、 $D / 40 \mu m$  以上である請求項 19 に記載の磁石粉末。

【請求項 21】 前記凸条の平均高さまたは前記溝の平均深さは、 $0.1 \sim 10 \mu m$  である請求項 19 または 20 に記載の磁石粉末。

【請求項 22】 前記凸条または前記溝が並設されており、その平均ピッチは、 $0.5 \sim 100 \mu m$  である請求項 19 ないし 21 のいずれかに記載の磁石粉末。

【請求項 23】 磁石粉末の全表面積に対し、前記凸条または前記溝の形成された部分の面積の占める割合は、 $15\%$  以上である請求項 19 ないし 22 のいずれかに記載の磁石粉末。

【請求項 24】 平均粒径が  $5 \sim 300 \mu m$  である請求項 18 ないし 23 のいずれかに記載の磁石粉末。

【請求項 25】 磁石粉末は、その製造過程で、または製造後少なくとも 1 回熱処理が施されたものである請求項 18 ないし 24 のいずれかに記載の磁石粉末。

【請求項 26】 磁石粉末は、ソフト磁性相とハード磁性相とを有する複合組織で構成されたものである請求項 18 ないし 25 のいずれかに記載の磁石粉末。

【請求項 27】 前記ハード磁性相およびソフト磁性相の平均結晶粒径は、いずれも  $1 \sim 100 nm$  である請求項 26 に記載の磁石粉末。

【請求項 28】 請求項 18 ないし 27 のいずれかに記載の磁石粉末を結合樹脂で結合してなることを特徴とするボンド磁石。

【請求項 29】 請求項 19 ないし 27 のいずれかに記載の磁石粉末を結合樹脂で結合してなるボンド磁石であって、前記磁石粉末の並設された前記凸条間、または並設された前記溝内に、前記結合樹脂が埋入していることを特徴とするボンド磁石。

【請求項 30】 ボンド磁石は、温間成形により製造されたものである請求項 28 または 29 に記載のボンド磁石。

【請求項 31】 室温での固有保磁力  $H_c$  が  $320 \sim 1200 \text{ kA/m}$  である請求項 28 ないし 30 のいずれかに記載のボンド磁石。

【請求項 32】 最大磁気エネルギー積  $(BH)_{\text{max}}$  が  $40 \text{ kJ/m}^3$  以上である請求項 28 ないし 31 のいずれかに記載のボンド磁石。

【請求項 33】 前記磁石粉末の含有量が  $75 \sim 99.5 \text{ wt\%}$  である請求項 28 ないし 32 のいずれかに記載のボンド磁石。

【請求項 34】 打ち抜きせん断試験により測定される機械的強度が  $50 \text{ MPa}$  以上である請求項 28 ないし 33 のいずれかに記載のボンド磁石。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、磁石粉末およびボンド磁石に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 磁石材料として、希土類元素を含む合金で構成される希土類磁石材料は、高い磁気特性を有するため、モータ等に用いられた場合に、高性能を発揮する。

【0003】 このような磁石材料は、例えば急冷薄帯製造装置を用いた急冷法により製造される。以下、この製造方法を説明する。

【0004】 図 21 は、従来の磁石材料を単ロール法により製造する装置（急冷薄帯製造装置）における溶湯の冷却ロールへの衝突部位付近の状態を示す断面側面図である。

【0005】 同図に示すように、所定の合金組成の磁石材料（以下「合金」と言う）を溶融し、その溶湯 60 を図示しないノズルから射出し、ノズルに対して図 21 中矢印 A 方向に回転している冷却ロール 500 の周面 530 に衝突させ、この周面 530 と接触させることにより合金溶湯を急冷、凝固し、薄帯状（リボン状）の磁石材料、すなわち急冷薄帯 80 を連続的に形成する。なお、図 21 中、溶湯 60 の凝固界面 710 を点線で示す。

【0006】 ここで、希土類元素は、酸化され易く、酸化されると磁気特性が低下するため、前記急冷薄帯 80 の製造は、主として不活性ガス中で行われていた。

【0007】 そのため、周面 530 と溶湯 60 のパドル（湯溜り）70 との間にガスが侵入し、急冷薄帯 80 のロール面（冷却ロール 500 の周面 530 と接触する面）810 にディンプル（凹部）9 を生じることがあった。この傾向は、冷却ロール 500 の周速度が大きくなるほど顕著となり、生じるディンプルの面積も大きくなる。

【0008】 このディンプル 9（特に、巨大ディンプル）が生じると、ディンプル部分においては、ガスの介在により冷却ロール 500 の周面 530 との接触不良が生じ、冷却速度が低下して、急速な凝固が妨げられる。

そのため、ディンプル 9 が生じた部位では、合金の結晶粒径が粗大化し、磁気特性が低下する。

【0009】 このような低磁気特性の部分を含む急冷薄帯を粉砕して得られる磁石粉末は、磁気特性のバラツキが大きくなる。したがって、このような磁石粉末を用いて製造されたボンド磁石は、低い磁気特性しか得られず、また、耐食性も低下する。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】 本発明の目的は、磁気特性が優れ、信頼性に優れた磁石を提供することができる磁石粉末およびボンド磁石を提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】 このような目的は、下記（1）～（34）の本発明により達成される。

【0012】 （1） 磁石合金の溶湯を回転する冷却ロールの周面に衝突させ、冷却固化することにより急冷薄帯を得、該急冷薄帯を粉砕することにより、磁石粉末を製造する方法であって、前記冷却ロールの前記周面に、ガス抜き手段としてのガス流路が形成されており、その平均ピッチを  $P \mu\text{m}$ 、前記磁石粉末の平均粒径を  $D \mu\text{m}$  としたとき、 $P < D$  の関係を満足することを特徴とする磁石粉末の製造方法。

【0013】 （2） 前記磁石粉末の平均粒径  $D$  は、 $5 \sim 300 \mu\text{m}$  である上記（1）に記載の磁石粉末の製造方法。

【0014】 （3） 前記ガス流路の平均ピッチ  $P$  は、 $0.5 \mu\text{m}$  以上  $100 \mu\text{m}$  未満である上記（1）または（2）に記載の磁石粉末の製造方法。

【0015】 （4） 前記ガス流路の平均幅は、 $0.5 \sim 90 \mu\text{m}$  である上記（1）ないし（3）のいずれかに記載の磁石粉末の製造方法。

【0016】 （5） 前記ガス流路の平均深さは、 $0.5 \sim 20 \mu\text{m}$  である上記（1）ないし（4）のいずれかに記載の磁石粉末の製造方法。

【0017】 （6） 前記ガス流路の平均幅を  $L_1$ 、平均深さを  $L_2$  としたとき、 $0.5 \leq L_1/L_2 \leq 1.5$  の関係を満足する上記（1）ないし（5）のいずれかに記載の磁石粉末の製造方法。

【0018】 （7） 前記冷却ロールは、ロール基材と、その外周の全周に設けられた表面層とを有し、前記表面層に前記ガス流路が形成されたものである上記（1）ないし（6）のいずれかに記載の磁石粉末の製造方法。

【0019】 （8） 前記表面層の構成材料は、前記ロール基材の構成材料の室温付近における熱伝導率より低い熱伝導率を有するものである上記（7）に記載の磁石粉末の製造方法。

【0020】 （9） 前記表面層の構成材料の室温付近における熱伝導率は、 $80 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  以下である上記（7）または（8）に記載の磁石粉末の製造方法。

【0021】(10) 前記表面層は、セラミックスで構成される上記(7)ないし(9)のいずれかに記載の磁石粉末の製造方法。

【0022】(11) 前記表面層の厚さは、0.5～50 $\mu$ mである上記(7)ないし(10)のいずれかに記載の磁石粉末の製造方法。

【0023】(12) 前記表面層は、その表面に機械加工を行わないで形成されたものである上記(7)ないし(11)のいずれかに記載の磁石粉末の製造方法。

【0024】(13) 前記ガス流路の長手方向と、冷却ロールの回転方向とのなす角は、30°以下である上記(1)ないし(12)のいずれかに記載の磁石粉末の製造方法。

【0025】(14) 前記ガス流路は、前記冷却ロールの回転軸を中心とする螺旋状に形成されたものである上記(1)ないし(13)のいずれかに記載の磁石粉末の製造方法。

【0026】(15) 前記ガス流路は、前記周面の縁部に開口しているものである上記(1)ないし(14)のいずれかに記載の磁石粉末の製造方法。

【0027】(16) 前記周面上における前記ガス流路の占める投影面積の割合が10～99.5%である上記(1)ないし(15)のいずれかに記載の磁石粉末の製造方法。

【0028】(17) 前記薄帯状磁石材料は、前記冷却ロールと接触した側の面の少なくとも一部に、前記冷却ロールの前記周面の形状が転写されたものである上記(1)ないし(16)のいずれかに記載の磁石粉末の製造方法。

【0029】(18) 上記(1)ないし(17)のいずれかに記載の方法により製造されたことを特徴とする磁石粉末。

【0030】(19) 磁石粉末は、その表面の少なくとも一部に複数の凸条または溝を有するものである上記(18)に記載の磁石粉末。

【0031】(20) 磁石粉末の平均粒径をD $\mu$ mとしたとき、前記凸条または前記溝の平均長さは、D/40 $\mu$ m以上である上記(19)に記載の磁石粉末。

【0032】(21) 前記凸条の平均高さまたは前記溝の平均深さは、0.1～10 $\mu$ mである上記(19)または(20)に記載の磁石粉末。

【0033】(22) 前記凸条または前記溝が並設されており、その平均ピッチは、0.5～100 $\mu$ mである上記(19)ないし(21)のいずれかに記載の磁石粉末。

【0034】(23) 磁石粉末の全表面積に対し、前記凸条または前記溝の形成された部分の面積の占める割合は、15%以上である上記(19)ないし(22)のいずれかに記載の磁石粉末。

【0035】(24) 平均粒径が5～300 $\mu$ mであ

る上記(18)ないし(23)のいずれかに記載の磁石粉末。

【0036】(25) 磁石粉末は、その製造過程で、または製造後少なくとも1回熱処理が施されたものである上記(18)ないし(24)のいずれかに記載の磁石粉末。

【0037】(26) 磁石粉末は、ソフト磁性相とハード磁性相とを有する複合組織で構成されたものである上記(18)ないし(25)のいずれかに記載の磁石粉末。

【0038】(27) 前記ハード磁性相およびソフト磁性相の平均結晶粒径は、いずれも1～100nmである上記(26)に記載の磁石粉末。

【0039】(28) 上記(18)ないし(27)のいずれかに記載の磁石粉末を結合樹脂で結合してなることを特徴とするボンド磁石。

【0040】(29) 上記(19)ないし(27)のいずれかに記載の磁石粉末を結合樹脂で結合してなるボンド磁石であって、前記磁石粉末の並設された前記凸条間、または並設された前記溝内に、前記結合樹脂が埋入していることを特徴とするボンド磁石。

【0041】(30) ボンド磁石は、温間成形により製造されたものである上記(28)または(29)に記載のボンド磁石。

【0042】(31) 室温での固有保磁力H<sub>J</sub>が320～1200kA/mである上記(28)ないし(30)のいずれかに記載のボンド磁石。

【0043】(32) 最大磁気エネルギー積(BH)<sub>max</sub>が40kJ/m<sup>3</sup>以上である上記(28)ないし(31)のいずれかに記載のボンド磁石。

【0044】(33) 前記磁石粉末の含有量が75～99.5wt%である上記(28)ないし(32)のいずれかに記載のボンド磁石。

【0045】(34) 打ち抜きせん断試験により測定される機械的強度が50MPa以上である上記(28)ないし(33)のいずれかに記載のボンド磁石。

【0046】

【発明の実施の形態】以下、本発明の磁石粉末の製造方法、磁石粉末およびボンド磁石の実施の形態について、詳細に説明する。

【0047】[急冷薄帯製造装置の構成]図1は、本発明の磁石粉末の製造方法の第1実施形態で用いられる装置(急冷薄帯製造装置)の構成を示す斜視図である。図2は、図1に示す急冷薄帯製造装置を構成する冷却ロールの正面図、図3は、図2に示す冷却ロールの拡大断面図である。

【0048】本発明の磁石粉末は、図1に示すような急冷薄帯製造装置を用いて製造された急冷薄帯(薄帯状磁石材料)を粉砕することにより得られる。まず、この急冷薄帯製造装置1の構成について説明する。

【0049】図1に示すように、急冷薄帯製造装置1は、磁石材料を収納し得る筒体2と、該筒体2に対し図中矢印A方向に回転する冷却ロール5とを備えている。筒体2の下端には、磁石合金の溶湯6を射出するノズル（オリフィス）3が形成されている。

【0050】筒体2の構成材料としては、例えば、石英、アルミナ、マグネシア等の耐熱性セラミックス等が挙げられる。

【0051】ノズル3の開口形状としては、例えば、円形、楕円形、スリット状等が挙げられる。

【0052】また、筒体2のノズル3近傍の外周には、加熱用のコイル4が配置され、このコイル4に例えば高周波を印加することにより、筒体2内を加熱（誘導加熱）し、筒体2内の磁石材料を溶融状態にする。

【0053】なお、加熱手段は、このようなコイル4に限らず、例えば、カーボンヒータを用いることもできる。

【0054】冷却ロール5は、ロール基材51と、冷却ロール5の周面53を形成する表面層52とで構成されている。

【0055】ロール基材51の構成材料は、特に限定されないが、表面層52の熱をより速く放散できるように、例えば銅または銅系合金のような熱伝導率の高い金属材料で構成されているのが好ましい。

【0056】表面層52は、ロール基材51と同じ材質で一体構成されていてもよいが、ロール基材51の構成材料より熱伝導率の小さい材料で構成されているのが好ましい。特に、表面層52の構成材料の室温付近における熱伝導率は、 $80 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  以下であるのが好ましく、 $3 \sim 60 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  であるのがより好ましく、 $5 \sim 40 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  であるのがさらに好ましい。

【0057】このような熱伝導率を有する材料としては、例えば、Zr、Sb、Ti、Ta、Pd、Pt等、またはこれらを含む合金等の金属薄層や金属酸化物層、セラミックス等が挙げられる。セラミックスとしては、例えば、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Ti}_2\text{O}_3$ 、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{Y}_2\text{O}_3$ 、チタン酸バリウム、チタン酸ストロンチウム等の氧化物系セラミックス、 $\text{AlN}$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{TiN}$ 、 $\text{BN}$ 、 $\text{ZrN}$ 、 $\text{HfN}$ 、 $\text{VN}$ 、 $\text{TaN}$ 、 $\text{NbN}$ 、 $\text{CrN}$ 、 $\text{Cr}_2\text{N}$ 等の窒化物系セラミックス、グラファイト、 $\text{SiC}$ 、 $\text{ZrC}$ 、 $\text{Al}_4\text{C}_3$ 、 $\text{CaC}_2$ 、 $\text{WC}$ 、 $\text{TiC}$ 、 $\text{HfC}$ 、 $\text{VC}$ 、 $\text{TaC}$ 、 $\text{NbC}$ 等の炭化物系のセラミックス、あるいは、これらのうちの2以上を任意に組合せた複合セラミックスが挙げられる。この中でも特に、窒化物系セラミックスを含むものであるのが好ましい。

【0058】冷却ロール5が、このような熱伝導率を有する表面層52とロール基材51とで構成されることにより、適度な冷却速度で溶湯6を急冷することが可能と

なる。また、ロール面81（冷却ロールの周面と接触する側の面）とフリー面82（ロール面と反対側の面）とでの冷却速度の差が小さくなる。このため、得られる急冷薄帯8は、各部位における結晶粒径のバラツキが小さく、磁気特性に優れたものとなる。したがって、急冷薄帯8を粉砕して得られる磁石粉末は、それぞれの磁石粉末間での結晶粒径のバラツキが小さいものとなり、磁気特性のバラツキも小さくなる。その結果、磁石粉末全体としての磁気特性は優れたものとなる。

10 【0059】また、従来、冷却ロールの周面を構成する材料として用いられてきたもの（Cu、Crなど）に比べ、このようなセラミックスは、高い硬度を有し、耐久性（耐摩耗性）に優れている。このため、冷却ロール5を繰り返し使用しても、周面53の形状が維持され、後述するガス抜き手段の効果も劣化しにくい。

【0060】ところで、前述したロール基材51の構成材料は、通常、比較的高い熱膨張率を有している。そのため、表面層52の構成材料の熱膨張率は、ロール基材51の熱膨張率に近い値であるのが好ましい。表面層52の構成材料の室温付近での熱膨張率（線膨張率 $\alpha$ ）は、例えば、 $3.5 \sim 18 [\times 10^{-6} \text{ K}^{-1}]$  程度であるのが好ましく、 $6 \sim 12 [\times 10^{-6} \text{ K}^{-1}]$  程度であるのがより好ましい。表面層52の構成材料の室温付近における熱膨張率（以下、単に「熱膨張率」とも言う）がこのような範囲の値であると、ロール基材51と表面層52との高い密着性を維持することができ、表面層52の剥離をより効果的に防止することができる。

【0061】また、表面層52は、図示のような単層のみならず、例えば組成の異なる複数の層の積層体であってもよい。この場合、隣接する層同士は、密着性の高いものが好ましく、その例としては、隣接する層同士に同一の元素が含まれているものが挙げられる。

【0062】また、表面層52が単層で構成されている場合でも、その組成は、厚さ方向に均一なものに限らず、例えば、含有成分が厚さ方向に順次変化するもの（傾斜材料）であってもよい。

【0063】表面層52の平均厚さ（前記積層体の場合はその合計厚さ）は、特に限定されないが、 $0.5 \sim 50 \mu\text{m}$  であることが好ましく、 $1 \sim 20 \mu\text{m}$  であることがより好ましい。

【0064】表面層52の平均厚さが下限値未満であると、次のような問題が生じる場合がある。すなわち、表面層52の材質によっては、冷却能が大きすぎて、厚さがかなり大きい急冷薄帯8でもロール面81付近では冷却速度が大きく、非晶質になり易くなる。一方、フリー面82付近では、急冷薄帯8の厚さが大きいほど冷却速度が小さくなり、その結果、結晶粒径の粗大化が起こり易くなる。すなわち、フリー面82付近では粗大粒、ロール面81付近では非晶質といった急冷薄帯となり易くなり、その後に熱処理を施したとしても、満足な磁気特

性が得られない場合がある。また、フリー面 82 付近での結晶粒径を小さくするために、例えば、冷却ロール 5 の周速度を大きくして、急冷薄帯 8 の厚さを小さくしたとしても、ロール面 81 付近での非晶質がよりランダムなものとなり、急冷薄帯 8 の作成後に、熱処理を施したとしても、十分な磁気特性が得られない場合がある。

【0065】また、表面層 52 の平均厚さが上限値を超えると、冷却速度が遅く、結晶粒径の粗大化が起こり、結果として磁気特性が低下する場合がある。

【0066】表面層 52 の形成方法は、特に限定されないが、熱 CVD、プラズマ CVD、レーザー CVD などの化学蒸着法 (CVD) または真空蒸着、スパッタリング、イオンプレーティングなどの物理蒸着法 (PVD) が好ましい。これらの方法を用いた場合、比較的容易に、表面層の厚さを均一にすることができるため、表面層 52 の形成後、その表面に機械加工を行わなくてよい。なお、表面層 52 は、その他、電解メッキ、浸漬メッキ、無電解メッキ、溶射等の方法で形成されてもよい。この中でも、溶射により表面層 52 を形成した場合、ロール基材 51 と表面層 52 との密着性 (接着強度) は、特に優れたものとなる。

【0067】また、冷却ロール 5 の周面 53 には、周面 53 と溶湯 6 のパドル (湯溜り) 7 との間に侵入したガスを排出するガス抜き手段としてのガス流路 54 が設けられている。

【0068】ガス抜き手段 (ガス流路 54) により、周面 53 とパドル 7 との間からガスが排出されると、周面 53 とパドル 7 との密着性が向上する (巨大ディンプルの発生が防止される)。これにより、パドル 7 の各部位における冷却速度の差は小さくなり、得られる急冷薄帯 8 の各部位における結晶粒径のバラツキも小さいものとなる。したがって、急冷薄帯 8 を粉碎して得られる磁石粉末は、それぞれの磁石粉末間での結晶粒径のバラツキが小さいものとなり、磁気特性のバラツキも小さくなる。その結果、磁石粉末全体としての磁気特性は優れたものとなる。

【0069】このようなガス抜き手段が設けられることによる効果は、前述した表面層 52 の効果と相乗的に作用する。その結果、得られる急冷薄帯 8 は、磁気特性に優れ、部位による磁気特性のバラツキが特に小さいものとなる。したがって、この急冷薄帯 8 を用いることにより、特に優れた磁気特性の磁石を得ることができる。

【0070】図示の構成では、ガス流路 54 は、冷却ロールの回転方向に対し、ほぼ平行に形成されている。ガス流路 54 がこのような形状を有していると、ガス流路 54 内に送り込まれたガスがガス流路 54 の長手方向に沿って移動するため、周面 53 とパドル 7 との間に侵入したガスの排出効率は、特に高く、周面 53 に対するパドル 7 の密着性が向上する。

【0071】図示の構成では、ガス流路 54 は複数本形

成されているが、少なくとも 1 本形成されていればよい。

【0072】ガス流路 54 の幅 (周面 53 へ開口している部分での幅)  $L_1$  の平均値は、 $0.5 \sim 90 \mu\text{m}$  であるのが好ましく、 $1 \sim 50 \mu\text{m}$  であるのがより好ましく、 $3 \sim 25 \mu\text{m}$  であるのがさらに好ましい。ガス流路 54 の幅  $L_1$  の平均値が下限値未満であると、周面 53 とパドル 7 との間に侵入したガスを十分に排出できない場合がある。一方、ガス流路 54 の幅  $L_1$  の平均値が上限値を超えると、溶湯 6 がガス流路 54 に入り込み、ガス流路 54 がガス抜き手段として機能しない場合がある。

【0073】ガス流路 54 の深さ (最大深さ)  $L_2$  の平均値は、 $0.5 \sim 20 \mu\text{m}$  であるのが好ましく、 $1 \sim 10 \mu\text{m}$  であるのがより好ましい。ガス流路 54 の深さ  $L_2$  の平均値が下限値未満であると、周面 53 とパドル 7 との間に侵入したガスを十分に排出できない場合がある。一方、ガス流路 54 の深さ  $L_2$  の平均値が上限値を超えると、ガス流路 54 内を流れるガス流の流速が増大するとともに、渦を伴う乱流となり易くなり、急冷薄帯 8 の表面に巨大ディンプルが発生し易くなる。

【0074】ガス流路 54 の幅  $L_1$  およびガス流路 54 の深さ  $L_2$  は、下記式 (I) を満足するのが好ましい。

$$\text{【0075】 } 0.5 \leq L_1 / L_2 \leq 15 \cdots \text{(I)}$$

また、式 (I) に代わり、式 (II) を満足するのがより好ましく、式 (III) を満足するのがさらに好ましい。

$$\text{【0076】 } 0.8 \leq L_1 / L_2 \leq 10 \cdots \text{(II)}$$

$$1 \leq L_1 / L_2 \leq 8 \cdots \text{(III)}$$

$L_1 / L_2$  の値が前記下限値未満であると、ガス抜きのための十分な開口幅を得るのが困難となり、周面 53 とパドル 7 との間に侵入したガスを十分に排出できない場合がある。また、ガス流路 54 の深さ  $L_2$  の値が相対的に大きくなるため、ガス流路 54 内を流れるガス流の流速が増大するとともに、渦を伴う乱流となり易くなり、急冷薄帯 8 の表面に巨大ディンプルが発生し易くなる。

【0077】一方、 $L_1 / L_2$  の値が前記上限値を超えると、溶湯 6 がガス流路 54 に入り込み、ガス流路 54 がガス抜き手段として十分に機能しない場合がある。また、ガス流路 54 の深さ  $L_2$  の値が相対的に小さくなるため、周面 53 とパドル 7 との間に侵入したガスを十分に排出できない場合がある。

【0078】本発明では、後の磁石粉末の製造の項で詳述するように、並設されたガス流路 54 の平均ピッチ  $P [\mu\text{m}]$  は、磁石粉末の平均粒径  $D [\mu\text{m}]$  との間で、 $P < D$  の関係を満足する。

【0079】ガス流路 54 の平均ピッチ  $P$  は、特に限定されないが、 $0.5 \mu\text{m}$  以上  $100 \mu\text{m}$  未満であるのが好ましく、 $3 \sim 50 \mu\text{m}$  であるのがより好ましい。ガス流路 54 の平均ピッチがこのような範囲の値であると、ガス流路 54 がガス抜き手段として十分に機能し、かつ



パドル 7 との接触部分—非接触部分の間隔が十分小さくなる。その結果、パドル 7 において、周面 5 3 と接触している部分と接触していない部分との冷却速度の差は、十分小さくなり、得られる急冷薄帯 8 の結晶粒径、磁気特性のパラツキは小さくなる。特に、表面層 5 2 が前述したようなセラミックスで構成されている場合、表面層 5 2 上にこのような十分に細かいピッチのガス流路 5 4 が形成されていても、表面層 5 2 の摩耗や欠けによる表面形状の劣化が起こりにくい。したがって、冷却ロール 5 を繰り返し使用しても、ガス抜き手段としての効果が維持される。

【0080】周面 5 3 上におけるガス流路 5 4 の占める投影面積（周面に投影したときの面積）の割合は、10～99.5% であるのが好ましく、30～95% であるのがより好ましい。周面 5 3 上におけるガス流路 5 4 の占める投影面積の割合が下限値未満であると、急冷薄帯 8 のロール面 8 1 付近では、冷却速度が大きくなり非晶質化しやすくなるのに対し、フリー面 8 2 付近ではロール面 8 1 付近に比べて冷却速度が遅いため結晶粒径の粗大化を招き、結果として磁気特性が低下する場合がある。一方、周面 5 3 上におけるガス流路 5 4 の占める投影面積の割合が上限値を超えると、冷却速度が小さくなり、結晶粒径の粗大化を招き、結果として磁気特性が低下する場合がある。

【0081】また、このような溝（ガス流路 5 4）が形成されていることにより、ロール基材 5 1 の熱膨張率と表面層 5 2 の熱膨張率との差が比較的大きい場合であっても、ロール基材 5 1 と表面層 5 2 との高い密着性を維持することができ、ロール基材 5 1 からの表面層 5 2 の剥離をより効果的に防止することができる。これは、以下のような理由によるものであると考えられる。

【0082】図 4 は、図 1 に示す急冷薄帯製造装置における溶湯の冷却ロールへの接触部位付近の状態を模式的に示す断面図である。図中、冷却ロール 5 付近での熱伝導の主な経路を矢印で示す。

【0083】このようなガス流路 5 4 が形成された冷却ロール 5 の周面 5 3 に溶湯 6 を接触させた場合、周面 5 3 上のガス流路 5 4 以外の部位では溶湯 6 との接触が起こるのに対し、ガス流路 5 4 内では実質的に溶湯 6 との接触が起こらない。このため、部位 5 2 1 付近の温度上昇が比較的大きいのに対し、部位 5 2 2 付近では比較的低温の状態が維持される。

【0084】このようにして表面層 5 2 に吸収された熱は、ロール基材 5 1 に伝導される。前述したように、部位 5 2 1 付近に比べ、部位 5 2 2 付近の温度が低くなっているため、ロール基材 5 1 への熱伝導は、主として部位 5 2 1 付近からのものとなる。

【0085】ロール基材 5 1 および表面層 5 2 が前述したような材料で構成されている場合、ロール基材 5 1 は、通常、表面層 5 2 に比べ高い熱伝導率を有してい

る。このため、部位 5 2 1 から部位 5 1 1 に伝導された熱は、十分に速い速度で部位 5 1 2 に伝導される。これにより、ロール基材 5 1 の部位による温度のパラツキが小さなものとなるとともに、ロール基材 5 1 全体としての温度上昇も緩和される。

【0086】さらに、溶湯 6 から部位 5 2 1 に伝導された熱の一部は、ガス流路 5 4 の内面からガス流路 5 4 内を流れるガスに伝導（放散）される。このため、部位 5 2 1 から部位 5 1 1 に伝導される熱量が少なくなり、結果として、ロール基材 5 1 に伝導される総熱量も少なくなり、ロール基材 5 1 全体の温度上昇も緩和される。

【0087】したがって、ロール基材 5 1 の熱膨張は小さなものとなり、表面層 5 2 とロール基材 5 1 との熱膨張の差も小さくなる。その結果、表面層 5 2 とロール基材 5 1 との高い密着性が維持される。

【0088】周面 5 3 のガス流路 5 4 を除く部分の表面粗さ  $R_a$  は、特に限定されないが、0.05～5  $\mu\text{m}$  であるのが好ましく、0.07～2  $\mu\text{m}$  であるのがより好ましい。表面粗さ  $R_a$  が下限値未満であると、冷却ロール 5 とパドル 7 との密着性が低下し、巨大ディンプルの発生を十分に抑制できない可能性がある。一方、表面粗さ  $R_a$  が上限値を超えると、急冷薄帯 8 の厚さのパラツキが顕著となり、結晶粒径のパラツキ、磁気特性のパラツキが大きくなる可能性がある。

【0089】なお、図 3（後述する図 13、図 15、図 17、図 19、図 20 も同様）は、冷却ロールの周面付近の断面形状を説明するための図であり、ロール基材と表面層との境界は、省略して示した。

【0090】次に、ガス流路 5 4 の形成方法について説明する。図 5、図 6 は、ガス流路の形成方法を説明するための図である。

【0091】ガス流路 5 4 の形成方法は、特に限定されないが、例えば、切削、転写（圧転）、研削、プラスト処理等の各種機械加工、レーザー加工、放電加工、化学エッチング等が挙げられる。その中でも、ガス流路 5 4 の幅、深さ、並設されたガス流路 5 4 のピッチ等の精度を高くすることが比較的容易である点で、機械加工、特に、切削であるのが好ましい。

【0092】ガス流路 5 4（溝）は、直接、表面層 5 2 に形成されたものであっても、そうでなくてもよい。すなわち、図 5 に示すように、表面層 5 2 を設けた後、その表面層に前述した方法によりガス流路 5 4 を形成してもよいが、図 6 に示すように、ロール基材 5 1 の外周面上に、前述したガス流路 5 4 の形成方法により溝を形成した後、表面層 5 2 を形成してもよい。この場合、表面層 5 2 の表面に機械加工を施すことなく、周面 5 3 上にガス抜き手段であるガス流路 5 4 が形成される。この場合、表面層 5 2 の表面に機械加工等が施されないため、その後、研磨等が施されなくても周面 5 3 の表面粗さ  $R_a$  を比較的小さくすることができる。



【0093】〔磁石材料の合金組成〕本発明における磁石粉末としては、優れた磁気特性を有するものが好ましく、このようなものとしては、R（ただし、Rは、Yを含む希土類元素のうちの少なくとも1種）を含む合金、特にR（ただし、Rは、Yを含む希土類元素のうちの少なくとも1種）とTM（ただし、TMは、遷移金属のうちの少なくとも1種）とB（ボロン）とを含む合金が挙げられ、次の〔1〕～〔5〕の組成のものが好ましい。

【0094】〔1〕 Smを主とする希土類元素と、Coを主とする遷移金属とを基本成分とするもの（以下、Sm-Co系合金と言う）。

【0095】〔2〕 R（ただし、Rは、Yを含む希土類元素のうちの少なくとも1種）と、Feを主とする遷移金属（TM）と、Bとを基本成分とするもの（以下、R-TM-B系合金と言う）。

【0096】〔3〕 Smを主とする希土類元素と、Feを主とする遷移金属と、Nを主とする格子間元素とを基本成分とするもの（以下、Sm-TM-N系合金と言う）。

【0097】〔4〕 R（ただし、Rは、Yを含む希土類元素のうちの少なくとも1種）とFe等の遷移金属とを基本成分とし、ソフト磁性相とハード磁性相とが相隣接して（粒界相を介して隣接する場合も含む）存在する複合組織（特に、ナノコンポジット組織と呼ばれるものがある）を有するもの。

【0098】〔5〕 前記〔1〕～〔4〕の組成のもののうち、少なくとも2種を混合したもの。この場合、混合する各磁石粉末の利点を併有することができ、より優れた磁気特性を容易に得ることができる。

【0099】Sm-Co系合金の代表的なものとしては、SmCo<sub>5</sub>、Sm<sub>2</sub>TM<sub>17</sub>（ただしTMは、遷移金属）が挙げられる。

【0100】R-TM-B系合金の代表的なものとしては、Nd-Fe-B系合金、Pr-Fe-B系合金、Nd-Pr-Fe-B系合金、Nd-Dy-Fe-B系合金、Ce-Nd-Fe-B系合金、Ce-Pr-Nd-Fe-B系合金、これらにおけるFeの一部をCo、Ni等の他の遷移金属で置換したもの等が挙げられる。

【0101】Sm-TM-N系合金の代表的なものとしては、Sm<sub>2</sub>Fe<sub>17</sub>合金を窒化して作製したSm<sub>2</sub>Fe<sub>17</sub>N<sub>3</sub>、TbCu<sub>7</sub>型相を主相とするSm-Zr-Fe-Co-N系合金等が挙げられる。ただし、これらSm-TM-N系合金の場合、Nは、急冷薄帯を作製した後、得られた急冷薄帯に適切な熱処理を施し、窒化することにより格子間原子として導入されるのが一般的である。

【0102】前記希土類元素としては、Y、La、Ce、Pr、Nd、Pm、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu、ミッシュメタルが挙げられ、これらを1種または2種以上含むことができる。また、前記遷移金属としては、Fe、Co、Ni等

が挙げられ、これらを1種または2種以上含むことができる。

【0103】また、保磁力、最大磁気エネルギー積等の磁気特性を向上させるため、あるいは、耐熱性、耐食性を向上させるために、磁石材料中には、必要に応じ、Al、Cu、Ga、Si、Ti、V、Ta、Zr、Nb、Mo、Hf、Ag、Zn、P、Ge、Cr、W、C等を含有することもできる。

【0104】前記複合組織（ナノコンポジット組織）

は、ソフト磁性相10とハード磁性相11とが、例えば、図7、図8または図9に示すようなパターン（モデル）で存在しており、各相の厚さや粒径がナノメートルレベルで存在している。そして、ソフト磁性相10とハード磁性相11とが相隣接し（粒界相を介して隣接する場合も含む）、磁気的な交換相互作用を生じる。

【0105】ソフト磁性相の磁化は、外部磁界の作用により容易にその向きを変えるので、ハード磁性相に混在すると、系全体の磁化曲線はB-H図（J-H図）の第二象現で段のある「へび型曲線」となる。しかし、ソフト磁性相のサイズが数10nm以下と十分小さい場合には、ソフト磁性体の磁化が周囲のハード磁性体の磁化との結合によって十分強く拘束され、系全体がハード磁性体として振舞うようになる。

【0106】このような複合組織（ナノコンポジット組織）を持つ磁石は、主に、以下に挙げる特徴1）～5）を有している。

【0107】1）B-H図（J-H図）の第二象現で、磁化が可逆的にスプリングバックする（この意味で「スプリング磁石」とも言う）。

2）着磁性が良く、比較的低い磁場で着磁できる。

3）磁気特性の温度依存性がハード磁性相単独の場合に比べて小さい。

4）磁気特性の経時変化が小さい。

5）微粉碎しても磁気特性が劣化しない。

【0108】このように、複合組織で構成される磁石は、優れた磁気特性を有する。したがって、磁石粉末は、このような複合組織を有するものであるのが特に好ましい。

【0109】なお、図7～図9に示すパターンは、一例であって、これらに限られるものではない。

【0110】〔薄帯状磁石材料の製造〕次に、前述した急冷薄帯製造装置1を用いた薄帯状磁石材料（急冷薄帯8）の製造について説明する。

【0111】薄帯状磁石材料は、磁石合金の溶湯を冷却ロールの周面に衝突させ、冷却固化することにより製造される。以下、その一例について説明する。

【0112】図10は、図1に示す急冷薄帯製造装置で製造された急冷薄帯の表面形状を模式的に示す断面図である。

【0113】図1に示すような急冷薄帯製造装置は、チ

チャンパー（図示せず）内に設置され、該チャンパー内に不活性ガスやその他の雰囲気ガスが充填された状態で作動する。特に、急冷薄帯8の酸化を防止するために、雰囲気ガスは、不活性ガスであるのが好ましい。不活性ガスとしては、例えばアルゴンガス、ヘリウムガス、窒素ガス等が挙げられる。

【0114】雰囲気ガスの圧力は、特に限定されないが、1～760Torrであるのが好ましい。

【0115】筒体2内の溶湯6の液面には、チャンパーの内圧より高い所定の圧力がかけられている。溶湯6は、この筒体2内の溶湯6の液面に作用する圧力と筒体2内における液面の高さに比例してかかる圧力の和と、チャンパー内の雰囲気ガスの圧力との差圧により、ノズル3から射出する。

【0116】溶湯噴射圧（筒体2内の溶湯6の液面に作用する圧力と筒体2内における液面の高さに比例してかかる圧力の和と、チャンパー内の雰囲気ガスの圧力との差圧）は、特に限定されないが、10～100kPaであるのが好ましい。

【0117】急冷薄帯製造装置1では、筒体2内に磁石合金を入れ、コイル4により加熱して熔融し、その溶湯6をノズル3から射出すると、図1に示すように、溶湯6は、冷却ロール5の周面53に衝突し、パドル（湯溜り）7を形成した後、回転する冷却ロール5の周面53に引きずられつつ急速に冷却されて凝固し、急冷薄帯8が連続的または断続的に形成される。このとき、パドル7と周面53との間に侵入したガスは、ガス流路54を介して外部に排出される。このようにして形成された急冷薄帯8は、やがて、そのロール面81が周面53から離れ、図1中の矢印B方向に進行する。

【0118】このように、周面53上にガス流路54が設けられることにより、周面53とパドル7との密着性が向上し（巨大ディンプルの発生が防止され）、パドル7の不均一な冷却が防止される。その結果、各部位における結晶粒径のパラツキが小さく、高い磁気特性を有する急冷薄帯8が得られる。

【0119】また、急冷薄帯8を実際に製造するに際しては、必ずしもノズル3を冷却ロール5の回転軸50の真上に設置しなくてもよい。

【0120】冷却ロール5の周速度は、合金溶湯の組成、表面層52の構成材料（組成）、周面53の表面性状（特に、周面53の溶湯6に対する濡れ性）等によりその好適な範囲が異なるが、磁気特性向上のために、通常、5～60m/秒であるのが好ましく、10～40m/秒であるのがより好ましい。冷却ロール5の周速度が下限値未満であると、溶湯6の冷却速度が低下し、結晶粒径が増大する傾向を示し、磁気特性が低下する場合がある。一方、冷却ロール5の周速度が上限値を超えると、逆に冷却速度が大きくなり、非晶質組織が占める割合が大きくなり、その後に、後述する熱処理を施したと

しても、磁気特性が十分に向上しない場合がある。

【0121】以上のようにして得られた急冷薄帯8は、その幅wおよび厚さができるだけ均一であるものが好ましい。この場合、急冷薄帯8の平均厚さtは、8～50μm程度であるのが好ましく、10～40μm程度であるのがより好ましい。平均厚さtが下限値未満であると、非晶質組織が占める割合が大きくなり、その後に、後述する熱処理を施したとしても磁気特性が十分に向上しない場合がある。単位時間当たりの生産性も低下する。一方、平均厚さtが上限値を超えると、フリー面82側の結晶粒径が粗大化する傾向を示すため、磁気特性が低下する場合がある。

【0122】なお、得られた急冷薄帯8に対しては、例えば、非晶質組織（アモルファス組織）の再結晶化の促進、組織の均質化等を目的として、熱処理を施すこともできる。この熱処理の条件としては、例えば、400～900℃で、0.5～300分程度とすることができ

る。

【0123】また、この熱処理は、酸化を防止するために、真空または減圧状態下（例えば $1 \times 10^{-1} \sim 1 \times 10^{-8}$  Torr）、あるいは窒素ガス、アルゴンガス、ヘリウムガス等の不活性ガス中のような、非酸化性雰囲気で行うのが好ましい。

【0124】以上のようにして得られた急冷薄帯（薄帯状磁石材料）8は、微細結晶組織、もしくは微細結晶が非晶質組織中に含まれるような組織となり、優れた磁気特性が得られる。

【0125】また、このようにして得られた急冷薄帯8は、ロール面81の少なくとも一部に、冷却ロール5の周面53の形状が転写されたものであるのが好ましい。これにより、急冷薄帯8は、図10に示すように、少なくともロール面81の一部に、周面53の形状に対応する凸条83または溝84が形成されたものとなる。

【0126】このような凸条83または溝84が形成されると、この急冷薄帯8を粉砕して得られる磁石粉末を後述するボンド磁石の製造に用いた場合、結合樹脂が溝内（または凸条間）に埋入する。このため、磁石粉末と結合樹脂との結着力が向上し、結合樹脂量が比較的少なくても、高い機械的強度が得られる。したがって、磁石粉末の含有量（含有率）を多くすることが可能となり、特に優れた磁気特性を有するボンド磁石が得られる。また、磁石粉末の表面に凸条または溝が形成されていると、磁石粉末と結合樹脂との混練時等における、両者の接触性（濡れ性）が向上する。このため、混練物は、結合樹脂が磁石粉末の周囲を覆うような状態となり易くなり、結合樹脂量が比較的少なくても、良好な成形性が得られる。

【0127】これらの効果により、高機械強度、高磁気特性のボンド磁石を良好な成形性で製造することが可能となる。

【0128】また、急冷薄帯8は、平均結晶粒径が500nm以下であるのが好ましく、200nm以下であるのがより好ましく、10~120nm程度がさらに好ましい。平均結晶粒径が500nmを超えると、磁気特性、特に保磁力および角型性の向上が十分に図れない場合がある。

【0129】特に、磁石材料が前記[4]のような複合組織を有するものである場合、ソフト磁性相10、ハード磁性相11の平均結晶粒径は、いずれも1~100nmであるのが好ましく、5~50nmであるのがより好ましい。平均結晶粒径がこのような範囲の大きさであると、ソフト磁性相10とハード磁性相11との間で、より効果的に磁気的な交換相互作用を生じることとなり、顕著な磁気特性の向上が認められる。

【0130】また、ロール面81付近におけるハード磁性相11の平均結晶粒径をD1h、ロール面81付近におけるソフト磁性相10の平均結晶粒径をD1s、フリー面82付近におけるハード磁性相11の平均結晶粒径をD2h、フリー面82付近におけるソフト磁性相10の平均結晶粒径をD2sとしたとき、下記式(IV)、

$$0.5 \leq D1h / D2h \leq 1.5 \quad \dots (IV)$$

$$0.5 \leq D1s / D2s \leq 1.5 \quad \dots (V)$$

D1h/D2hまたはD1s/D2sが0.5~1.5であると、ハード磁性相11、ソフト磁性相10のそれぞれについて、ロール面81付近とフリー面82付近との結晶粒径の差が少なく、その結果、磁気特性が均一となり、全体として優れた磁気特性が得られる。より詳しく述べると、急冷薄帯8から磁石粉末を製造し、さらには該磁石粉末を用いてボンド磁石を製造したとき、高い磁気エネルギー積(BH)<sub>max</sub>が得られると共に、ヒステリシスループにおける角型性が良好となり、その結果、不可逆減磁率の絶対値が小さくなるので、磁石の信頼性も向上する。

【0131】なお、以上では、急冷法として、単ロール法を例に説明したが、双ロール法を採用してもよい。双ロール法を採用した場合、周面上にガス流路が形成された冷却ロールを2つ用いることにより、得られる急冷薄帯の対向する一対の面のそれぞれ(両面)に、前述したような凸条または溝を形成することができる。また、このような急冷法は、金属組織(結晶粒)を微細化することができるので、ボンド磁石の磁石特性、特に保磁力等を向上させるのに有効である。

【0132】[磁石粉末の製造]以上のようにして製造された急冷薄帯8を粉砕することにより、本発明の磁石粉末が得られる。

【0133】図11は、前述した急冷薄帯を粉砕して得られる磁石粉末の表面形状を模式的に示す図である。

【0134】急冷薄帯8の粉砕の方法は、特に限定され

ず、例えばボールミル、振動ミル、ジェットミル、ピンミル等の各種粉砕装置、破砕装置を用いて行うことができる。この場合、粉砕は、酸化を防止するために、真空または減圧状態下(例えば $1 \times 10^{-1} \sim 1 \times 10^{-6}$  Torr)、あるいは窒素ガス、アルゴンガス、ヘリウムガス等の不活性ガス中のような、非酸化性雰囲気中で行うこともできる。

【0135】ところで、前述したように冷却ロール5の周面53に溶湯6を接触させた場合、周面53上のガス流路54以外の部位では溶湯6との接触が起こるのに対し、ガス流路54内では実質的に溶湯6との接触が起こらない。このため、冷却ロール5と接触している部位に比べて冷却ロール5と接触していない部位では、溶湯6の冷却速度が小さくなる。したがって、急冷薄帯8を粉砕して得られる磁石粉末の粒径がガス流路54のピッチより小さいと、急冷薄帯8の冷却ロール5と接触していた部分から得られる磁石粉末における平均結晶粒径と、急冷薄帯8の冷却ロール5と接触していなかった部分から得られる磁石粉末における平均結晶粒径との差が大きくなる。その結果、各磁石粉末間での磁気特性のバラツキが大きくなる。そこで、本発明では、ガス流路54の平均ピッチP[μm]と、磁石粉末12の平均粒径D[μm]との間で、 $P < D$ の関係が成り立つようにした。特に、 $1 \leq D/P \leq 60$ の関係が成り立つのが好ましく、 $2 \leq D/P \leq 30$ の関係が成り立つのがより好ましい。DとPとの間でこのような関係が成り立つことにより、各磁石粉末間での磁気特性のバラツキはさらに小さくなり、磁石粉末全体としての磁気特性が高くなる。

【0136】磁石粉末12の平均粒径Dの値は、後述するボンド磁石を製造するためのものの場合、磁石粉末の酸化防止と、粉砕による磁気特性劣化の防止とを考慮して、5~300μmであるのが好ましく、10~200μmであるのがより好ましい。

【0137】また、ボンド磁石の成形時のより良好な成形性を得るために、磁石粉末の粒径分布は、ある程度分散されている(バラツキがある)のが好ましい。これにより、得られたボンド磁石の空孔率を低減することができ、その結果、ボンド磁石中の磁石粉末の含有量を同じとしたときに、ボンド磁石の密度や機械的強度をより高めることができ、磁気特性をさらに向上することができる。

【0138】なお、平均粒径Dは、例えば、F.S.S.S.(Fischer Sub-Sieve Sizer)法や、ふるい分け法により測定することができる。

【0139】また、ロール面81に周面53の形状が転写された急冷薄帯8を用いた場合、得られる磁石粉末12は、その表面の少なくとも一部に複数の凸条13または溝14を有している。これにより、次のような効果が得られる。

【0140】このような磁石粉末をボンド磁石の製造に用いた場合、結合樹脂が溝内（または凸条間）に埋入する。このため、磁石粉末と結合樹脂との結着力が向上し、結合樹脂量が比較的少なくても、高い機械的強度が得られる。したがって、磁石粉末の含有量（含有率）を多くすることが可能となり、結果として、特に優れた磁気特性を有するボンド磁石が得られる。

【0141】また、磁石粉末12の表面に凸条13または溝14が設けられている場合、磁石粉末12と結合樹脂との混練時等における、両者の接触性（濡れ性）がより向上する。このため、混練物は、結合樹脂が磁石粉末の周囲を覆うような状態となり易くなり、結合樹脂量が比較的少なくても、良好な成形性が得られる。

【0142】これらの効果により、高機械強度、高磁気特性のボンド磁石を良好な成形性で製造することが可能となる。

【0143】磁石粉末12の平均粒径を $D\mu\text{m}$ としたとき、凸条13または溝14の長さは、 $D/40\mu\text{m}$ 以上であるのが好ましく、 $D/30\mu\text{m}$ 以上であるのがより好ましい。

【0144】凸条13または溝14の長さが、 $D/40\mu\text{m}$ 未満であると、磁石粉末12の平均粒径 $D$ の値等によっては、前述した本発明の効果が十分に発揮されない場合がある。

【0145】凸条13の平均高さまたは溝14の平均深さは、 $0.1\sim 10\mu\text{m}$ であるのが好ましく、 $0.3\sim 5\mu\text{m}$ であるのがより好ましい。

【0146】凸条13の平均高さまたは溝14の平均深さがこのような範囲の値であると、磁石粉末12をボンド磁石の製造に用いた場合、凸条間または溝内に結合樹脂が必要かつ十分に埋入することにより、磁石粉末と結合樹脂との結着力が一層向上し、得られるボンド磁石の機械的強度、磁気特性がさらに向上する。

【0147】並設された凸条13または並設された溝14の平均ピッチは、 $0.5\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 未満であるのが好ましく、 $3\sim 50\mu\text{m}$ であるのがより好ましい。並設された凸条または並設された溝の平均ピッチがこのような範囲の値であると、前述した本発明の効果が特に顕著となる。

【0148】凸条13または溝14の形成された面積は、磁石粉末の全表面積の15%以上であるのが好ましく、25%以上であるのがより好ましい。

【0149】凸条13または溝14の形成された面積が磁石粉末の全表面積の15%未満であると、前述した効果が十分に発揮されない場合がある。

【0150】なお、得られた磁石粉末に対しては、例えば、粉碎により導入されたひずみの影響の除去、結晶粒径の制御を目的として、熱処理を施すこともできる。この熱処理の条件としては、例えば、 $350\sim 850^\circ\text{C}$ で、 $0.5\sim 300$ 分程度とすることができる。

【0151】また、この熱処理は、酸化を防止するために、真空または減圧状態下（例えば $1\times 10^{-1}\sim 1\times 10^{-6}$  Torr）、あるいは窒素ガス、アルゴンガス、ヘリウムガス等の不活性ガス中のような、非酸化性雰囲気で行うのが好ましい。

【0152】このような磁石粉末を用いてボンド磁石を製造した場合、該磁石粉末は、結合樹脂との結合性（結合樹脂の濡れ性）が良く、そのため、このボンド磁石は、機械的強度が高く、熱安定性（耐熱性）、耐食性が優れたものとなる。従って、当該磁石粉末は、ボンド磁石の製造に適しており、製造されたボンド磁石は、信頼性の高いものとなる。

【0153】以上のような磁石粉末は、平均結晶粒径が $500\text{nm}$ 以下であるのが好ましく、 $200\text{nm}$ 以下であるのがより好ましく、 $10\sim 120\text{nm}$ 程度がさらに好ましい。平均結晶粒径が $500\text{nm}$ を超えると、磁気特性、特に保磁力および角型性の向上が十分に図れない場合がある。

【0154】特に、磁石材料が前記[4]のような複合組織を有するものである場合、平均結晶粒径は、 $1\sim 100\text{nm}$ であるのが好ましく、 $5\sim 50\text{nm}$ であるのがより好ましい。平均結晶粒径がこのような範囲の大きさであると、ソフト磁性相10とハード磁性相11との間で、より効果的に磁気的な交換相互作用を生じることとなり、顕著な磁気特性の向上が認められる。

【0155】[ボンド磁石およびその製造]次に、本発明のボンド磁石について説明する。

【0156】本発明のボンド磁石は、好ましくは、前述の磁石粉末を結合樹脂で結合してなるものである。

【0157】結合樹脂（バインダー）としては、熱可塑性樹脂、熱硬化性樹脂のいずれでもよい。

【0158】熱可塑性樹脂としては、例えば、ポリアミド（例：ナイロン6、ナイロン46、ナイロン66、ナイロン610、ナイロン612、ナイロン11、ナイロン12、ナイロン6-12、ナイロン6-66）、熱可塑性ポリイミド、芳香族ポリエステル等の液晶ポリマー、ポリフェニレンオキシド、ポリフェニレンサルファイド、ポリエチレン、ポリプロピレン、エチレン-酢酸ビニル共重合体等のポリオレフィン、変性ポリオレフィン、ポリカーボネート、ポリメチルメタクリレート、ポリエチレンテレフタレート、ポリブチレンテレフタレート等のポリエステル、ポリエーテル、ポリエーテルエーテルケトン、ポリエーテルイミド、ポリアセタール等、またはこれらを主とする共重合体、ブレンド体、ポリマーアロイ等が挙げられ、これらのうちの1種または2種以上を混合して用いることができる。

【0159】これらのうちでも、成形性が特に優れており、機械的強度が高いことから、ポリアミド、耐熱性向上の点から、液晶ポリマー、ポリフェニレンサルファイドを主とするものが好ましい。また、これらの熱可塑性

樹脂は、磁石粉末との混練性にも優れている。

【0160】このような熱可塑性樹脂は、その種類、共重合化等により、例えば成形性を重視したものや、耐熱性、機械的強度を重視したものというように、広範囲の選択が可能となるという利点がある。

【0161】一方、熱硬化性樹脂としては、例えば、ビスフェノール型、ノボラック型、ナフタレン系等の各種エポキシ樹脂、フェノール樹脂、ユリア樹脂、メラミン樹脂、ポリエステル（不飽和ポリエステル）樹脂、ポリイミド樹脂、シリコーン樹脂、ポリウレタン樹脂等が挙げられ、これらのうちの1種または2種以上を混合して用いることができる。

【0162】これらのうちでも、成形性が特に優れており、機械的強度が高く、耐熱性に優れるという点から、エポキシ樹脂、フェノール樹脂、ポリイミド樹脂、シリコーン樹脂が好ましく、エポキシ樹脂が特に好ましい。また、これらの熱硬化性樹脂は、磁石粉末との混練性、混練の均一性にも優れている。

【0163】なお、使用される熱硬化性樹脂（未硬化）は、室温で液状のものでも、固形（粉末状）のものでもよい。

【0164】このような本発明のボンド磁石は、例えば次のようにして製造される。磁石粉末と、結合樹脂と、必要に応じ添加剤（酸化防止剤、潤滑剤等）とを混合、混練してボンド磁石用組成物（コンパウンド）を製造し、このボンド磁石用組成物を用いて、圧縮成形（プレス成形）、押出成形、射出成形等の成形方法により、無磁場中で所望の磁石形状に成形する。結合樹脂が熱硬化性樹脂の場合には、成形後、加熱等によりそれを硬化する。

【0165】このとき、混練は、常温下で行われてもよいが、用いられる結合樹脂が軟化を開始する温度またはそれ以上の温度で行われるのが好ましい。特に、結合樹脂が熱硬化性樹脂である場合、結合樹脂が軟化を開始する温度以上の温度で、かつ結合樹脂が硬化を開始する温度未満の温度で混練されるのが好ましい。

【0166】このような温度で混練を行うことにより、混練の効率が向上し、常温で混練する場合に比べて、より短時間で均一に混練することが可能となるとともに、結合樹脂樹脂の粘度が下がった状態で混練されるので、磁石粉末と結合樹脂との密着性が向上し、コンパウンド中の空孔率が小さくなる。特に、磁石粉末の表面に凸条13または溝14が形成されている場合、凸条間または溝内にも、軟化または熔融した結合樹脂が効率よく埋入する。その結果、コンパウンド中の空孔率をさらに小さくすることができる。また、コンパウンド中の結合樹脂の含有量（含有率）の低減にも寄与する。

【0167】また、上記各種方法による成形は、前記結合樹脂が軟化または熔融状態となる温度で行われるのが好ましい（温間成形）。

【0168】このような温度で成形を行うことにより、結合樹脂の流動性が向上し、結合樹脂量が少ない場合でも高い成形性を確保することができる。また、結合樹脂の流動性が向上することにより、磁石粉末と結合樹脂との密着性が向上し、ボンド磁石中の空孔率が低くなる。特に、磁石粉末の表面に凸条13または溝14が形成されている場合、凸条間または溝内にも、軟化または熔融した結合樹脂が効率よく埋入する。このため、磁石粉末と結合樹脂との結着力がさらに向上するとともに、得られるボンド磁石中の空孔率も低くなる。その結果、高密度で、磁気特性、機械的強度の高いボンド磁石が得られる。

【0169】機械的強度を表す指標の一例として、日本電子材料工業会標準規格「ボンド磁石の小形試験片による打ち抜きせん断試験方法」（EMAS-7006）による打ち抜きせん断試験によって得られる機械的強度が挙げられるが、本発明のボンド磁石では、この機械的強度が50MPa以上であるのが好ましく、60MPa以上であるのがより好ましい。

【0170】ボンド磁石中の磁石粉末の含有量（含有率）は、特に限定されず、通常は、成形方法や、成形性と高磁気特性との両立を考慮して決定される。具体的には、75～99.5wt%程度であるのが好ましく、85～97.5wt%程度であるのがより好ましい。

【0171】特に、ボンド磁石が圧縮成形により製造されたもの場合には、磁石粉末の含有量は、90～99.5wt%程度であるのが好ましく、93～98.5wt%程度であるのがより好ましい。

【0172】また、ボンド磁石が押出成形または射出成形により製造されたもの場合には、磁石粉末の含有量は、75～98wt%程度であるのが好ましく、85～97wt%程度であるのがより好ましい。

【0173】前述したように、磁石粉末の表面の少なくとも一部に凸条または溝が設けられている場合、磁石粉末と結合樹脂との結着力は、特に優れたものとなる。このため、用いる結合樹脂量を少なくした場合においても、高い機械的強度が得られる。したがって、磁石粉末の含有量（含有率）を多くすることが可能となり、特に優れた磁気特性を有するボンド磁石を得ることができる。

【0174】ボンド磁石の密度 $\rho$ は、それに含まれる磁石粉末の比重、磁石粉末の含有量、空孔率等の要因により決定される。本発明のボンド磁石において、その密度 $\rho$ は特に限定されないが、4.5～6.6Mg/m<sup>3</sup>程度であるのが好ましく、5.5～6.4Mg/m<sup>3</sup>程度であるのがより好ましい。

【0175】本発明のボンド磁石の形状、寸法等は特に限定されず、例えば、形状に関しては、例えば、円柱状、角柱状、円筒状（リング状）、円弧状、平板状、湾曲板状等のあらゆる形状のものが可能であり、その大き

さも、大型のものから超小型のものまであらゆる大きさのものが可能である。特に、小型化、超小型化された磁石に有利であることは、本明細書中で度々述べている通りである。

【0176】本発明のボンド磁石は、保磁力（室温での固有保磁力） $H_J$  が  $320 \sim 1200 \text{ kA/m}$  であるのが好ましく、 $400 \sim 800 \text{ kA/m}$  がより好ましい。保磁力が前記下限値未満では、逆磁場がかかったときの減磁が顕著になり、また、高温における耐熱性が劣る。また、保磁力が前記上限値を超えると、着磁性が低下する。従って、保磁力  $H_J$  を上記範囲とすることにより、ボンド磁石（特に、円筒状磁石）に多極着磁等をするような場合に、十分な着磁磁場が得られないときでも、良好な着磁が可能となり、十分な磁束密度が得られ、高性能なボンド磁石を提供することができる。

【0177】本発明のボンド磁石は、最大磁気エネルギー積（BH）<sub>max</sub> が  $40 \text{ kJ/m}^3$  以上であるのが好ましく、 $50 \text{ kJ/m}^3$  以上であるのがより好ましく、 $70 \sim 130 \text{ kJ/m}^3$  であるのがさらに好ましい。最大磁気エネルギー積（BH）<sub>max</sub> が  $40 \text{ kJ/m}^3$  未満であると、モータ用に用いた場合、その種類、構造によっては、十分なトルクが得られない。

【0178】以上説明したように、本実施形態の磁石粉末の製造方法で用いられる冷却ロール5には、ガス流路54が設けられているため、周面53とパドル7との間に侵入したガスを排出することができる。これにより、パドル7の浮き上がりが防止され、周面53とパドル7との密着性が向上する。このため、各部位における結晶粒径のパラツキが小さく、高い磁気特性を有する急冷薄帯8が得られる。また、この急冷薄帯8を粉碎して得られる磁石粉末の平均結晶粒径  $D [\mu\text{m}]$  が、ガス流路54の平均ピッチ  $P [\mu\text{m}]$  との間で、 $P < D$  の関係を満足するため、各磁石粉末間での磁気特性のパラツキが小さくなり、磁石粉末全体としての磁気特性は優れたものとなる。

【0179】したがって、前記急冷薄帯8から得られるボンド磁石は、優れた磁気特性を有している。また、ボンド磁石の製造に際し、高密度化を追求しなくても高い磁気特性を得ることができるため、成形性、寸法精度、機械的強度、耐食性、耐熱性等の向上を図ることができる。

【0180】次に、本発明の磁石粉末の製造方法の第2実施形態について説明する。図12は、本発明の磁石粉末の製造方法の第2実施形態で用いられる冷却ロールを示す正面図、図13は、図12に示す冷却ロールの拡大断面図である。以下、第2実施形態の製造方法で用いられる冷却ロールについて、前記第1実施形態の製造方法での冷却ロールとの相違点を中心に説明し、同様の事項の説明は省略する。

【0181】図12に示すように、ガス流路54は、冷

却ロール5の回転軸50を中心とする螺旋状に形成されている。ガス流路54がこのような形状であると、比較的容易に、周面53全体にわたりガス流路54を形成することができる。例えば、冷却ロール5を一定速度で回転させておき、旋盤等の切削工具を回転軸50に対して平行に、一定速度で移動させながら、冷却ロール5の外周部を切削することによりこのようなガス流路54を形成することができる。

【0182】なお、螺旋状のガス流路54は、1条（1本）であっても、2条（2本）以上であってもよい。

【0183】ガス流路54の長手方向と、冷却ロール5の回転方向とのなす角  $\theta$ （絶対値）は、 $30^\circ$  以下であるのが好ましく、 $20^\circ$  以下であるのがより好ましい。 $\theta$  が  $30^\circ$  以下であると、冷却ロール5のあらゆる周速度において、周面53とパドル7との間に侵入したガスを効率よく排出することができる。

【0184】周面53上の各部位において、 $\theta$  の値は、一定であっても、一定でなくてもよい。また、ガス流路54を2条以上有する場合、それぞれのガス流路54について、 $\theta$  は、同一であっても、異なってもよい。

【0185】ガス流路54は、周面53の縁部55において、開口部56で開口している。これにより、周面53とパドル7との間からガス流路54に排出されたガスがこの開口部56から冷却ロール5の側方へ排出されるため、排出されたガスが再び周面53とパドル7との間に侵入するのを効果的に防止することができる。図示の構成では、ガス流路54は、両縁部に開口しているが、一方の縁部にのみ開口していてもよい。

【0186】次に、本発明の磁石粉末の製造方法の第3実施形態について説明する。図14は、本発明の磁石粉末の製造方法の第3実施形態で用いられる冷却ロールを示す正面図、図15は、図14に示す冷却ロールの拡大断面図である。以下、第3実施形態の製造方法で用いられる冷却ロールについて、前記第1実施形態、第2実施形態での冷却ロールとの相違点を中心に説明し、同様の事項の説明は省略する。

【0187】図14に示すように、周面53上には、螺旋の回転方向が互いに逆向きである少なくとも2本のガス流路54が形成されている。これらのガス流路54は、多点で交差している。

【0188】このように、螺旋の回転方向が逆向きであるガス流路54が形成されることにより、製造された急冷薄帯8が右巻きのガス流路54から受ける横方向の力と左巻きのガス流路54から受ける横方向の力とが相殺され、急冷薄帯8の図14中の横方向の移動が抑制され、進行方向が安定する。

【0189】また、図14中、 $\theta_1$ 、 $\theta_2$  で示すそれぞれの回転方向のガス流路54の長手方向と冷却ロール5の回転方向とのなす角（絶対値）は、前述した  $\theta$  と同様な範囲の値であるのが好ましい。



【0190】次に、本発明の磁石粉末の製造方法の第4実施形態について説明する。図16は、本発明の磁石粉末の製造方法の第4実施形態で用いられる冷却ロールを示す正面図、図17は、図16に示す冷却ロールの拡大断面図である。以下、第4実施形態の製造方法で用いられる冷却ロールについて、前記第1実施形態～第3実施形態での冷却ロールとの相違点を中心に説明し、同様の事項の説明は省略する。

【0191】図16に示すように、複数のガス流路54が、冷却ロール5の周面の幅方向のほぼ中央から両縁部55方向に、ハの字状に形成されている。

【0192】このようなガス流路54が形成された冷却ロール5を用いた場合、その回転方向との組み合わせにより、周面53とパドル7との間に侵入したガスをより一層高い効率で排出することができる。

【0193】また、このようなパターンのガス流路54が形成された場合、冷却ロール5の回転に伴って生じる、図16中、左右の両ガス流路54からの力がつりあうことにより、冷却ロール5の幅方向のほぼ中央に急冷薄帯8がよせられるため、急冷薄帯8の進行方向が安定する。

【0194】なお、本発明では、ガス流路54の形状等の諸条件は、前述した第1実施形態～第4実施形態に限定されるものではない。

【0195】例えば、ガス流路54は、図18に示すように間欠的に形成されたものであってもよい。また、ガス流路54の断面形状は、特に限定されず、例えば、図19、図20に示すようなものであってもよい。

【0196】これらの図に示す冷却ロール5でも、前述した第1実施形態～第4実施形態での冷却ロール5と同様の効果が得られる。

【0197】

【実施例】以下、本発明の具体的実施例について説明する。

【0198】（実施例1）以下に示すような製造条件（No. 1～No. 10）で磁石粉末を製造した。

【0199】＜製造条件No. 1＞まず、銅製のロール基材（直径200mm、幅30mm、20℃における熱伝導率： $395 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 、20℃における熱膨張率（線膨張率 $\alpha$ ）： $16.5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ）を用意し、その周面に切削加工を施し、ほぼ鏡面（表面粗さRa 0.07 $\mu\text{m}$ ）とした。

【0200】その後、さらに、切削加工を施し、ロール基材の回転方向に対し、ほぼ平行な溝を形成した。

【0201】このロール基材の外周面に、セラミックスであるVNの表面層（20℃における熱伝導率： $11.3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 、20℃における熱膨張率（線膨張率 $\alpha$ ）： $9.2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ）をイオンプレーティングにより形成し、図1～図3に示すような冷却ロールAを得た。なお、表面層の厚さは、5 $\mu\text{m}$ であった。また、表

面層の形成後、該表面層に対し、機械加工は施さなかった。

【0202】次に、この冷却ロールAを用いて、急冷薄帯を製造した。図1に示すような構成の急冷薄帯製造装置を用いて、以下に述べるような方法で合金組成が（Nd<sub>0.77</sub> Pr<sub>0.18</sub> Dy<sub>0.05</sub>）<sub>8.9</sub> Fe<sub>bal.</sub> Co<sub>8.2</sub> B<sub>5.5</sub> で表される急冷薄帯を製造した。

【0203】まず、Nd、Pr、Dy、Fe、Co、Bの各原料を秤量して母合金インゴットを铸造した。

【0204】急冷薄帯製造装置1において、底部にノズル（円孔オリフィス）3を設けた石英管内に前記母合金インゴットを入れた。急冷薄帯製造装置1が収納されているチャンバー内を脱気した後、不活性ガス（ヘリウムガス）を導入し、所望の温度および圧力の雰囲気とした。

【0205】その後、石英管内の母合金インゴットを高周波誘導加熱により溶解し、さらに、冷却ロールの周速度を所望の値とし、溶湯6の噴射圧（石英管の内圧と筒体2内における液面の高さに比例してかかる圧力の和と、雰囲気圧との差圧）を40kPa、雰囲気ガスの圧力を60kPaとしたうえで、溶湯6を冷却ロール5の回転軸50のほぼ真上から冷却ロール5の頂部の周面53に向けて噴射し、急冷薄帯8を連続的に作製した。このとき、冷却ロールの周速度を種々変化させて数ロットの急冷薄帯を製造した。

【0206】得られた急冷薄帯について、アルゴンガス雰囲気中で、680℃×5分間の熱処理を施した。その後、振動試料型磁力計（VSM）により、各急冷薄帯の磁気特性を測定した。測定に際しては、急冷薄帯の長軸方向を印加磁界方向とした。なお、反磁界補正は行わなかった。測定の結果、最も高い磁気特性が得られたロットの急冷薄帯を粉砕し、さらに、650℃×4分間の熱処理を施し、平均粒径70 $\mu\text{m}$ の磁石粉末を得た。

【0207】なお、磁石粉末の製造過程で得られる急冷薄帯のロール面には、冷却ロールの周面の形状が転写され、凸条、溝が形成されていた。

【0208】＜製造条件No. 2＞溝の形状を図12、図13に示すようなものとした以外は前記冷却ロールAと同様にして冷却ロールBを製造した。なお、溝の形成は、以下のようにして行った。すなわち、3本の切削工具を等間隔に設置した旋盤を用いて、併設された溝のピッチが周面上の各部位において、ほぼ一定となるように3条の溝を形成した。

【0209】冷却ロールとして冷却ロールBを用いた以外は、製造条件No. 1と同様にして、数ロットの急冷薄帯を製造した。得られた急冷薄帯について、アルゴンガス雰囲気中で、680℃×5分間の熱処理を施した後、製造条件No. 1と同様にして、各急冷薄帯の磁気特性を測定した。その中で最も高い磁気特性を有する急冷薄帯を粉砕し、さらに、650℃×4分間の熱処理を



施し、平均粒径  $70\ \mu\text{m}$  の磁石粉末を得た。

【0210】なお、磁石粉末の製造過程で得られる急冷薄帯のロール面には、冷却ロールの周面の形状が転写され、凸条、溝が形成されていた。

【0211】＜製造条件No. 3＞溝の形状を図14、図15に示すようなものとした以外は前記冷却ロールBと同様にして冷却ロールCを製造した。

【0212】冷却ロールとして冷却ロールCを用いた以外は、製造条件No. 1と同様にして、数ロットの急冷薄帯を製造した。得られた急冷薄帯について、アルゴンガス雰囲気中で、 $680^\circ\text{C} \times 5$ 分間の熱処理を施した後、製造条件No. 1と同様にして、各急冷薄帯の磁気特性を測定した。その中で最も高い磁気特性を有する急冷薄帯を粉砕し、さらに、 $650^\circ\text{C} \times 4$ 分間の熱処理を施し、平均粒径  $70\ \mu\text{m}$  の磁石粉末を得た。

【0213】なお、磁石粉末の製造過程で得られる急冷薄帯のロール面には、冷却ロールの周面の形状が転写され、凸条、溝が形成されていた。

【0214】＜製造条件No. 4＞溝の形状を図16、図17に示すようなものとした以外は冷却ロールBと同様にして冷却ロールDを製造した。

【0215】冷却ロールとして冷却ロールDを用いた以外は、製造条件No. 1と同様にして、数ロットの急冷薄帯を製造した。得られた急冷薄帯について、アルゴンガス雰囲気中で、 $680^\circ\text{C} \times 5$ 分間の熱処理を施した後、製造条件No. 1と同様にして、各急冷薄帯の磁気特性を測定した。その中で最も高い磁気特性を有する急冷薄帯を粉砕し、さらに、 $650^\circ\text{C} \times 4$ 分間の熱処理を施し、平均粒径  $70\ \mu\text{m}$  の磁石粉末を得た。

【0216】なお、磁石粉末の製造過程で得られる急冷薄帯のロール面には、冷却ロールの周面の形状が転写され、凸条、溝が形成されていた。

【0217】＜製造条件No. 5＞表面層の構成材料をTiN ( $20^\circ\text{C}$ における熱伝導率:  $29.4\ \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 、 $20^\circ\text{C}$ における熱膨張率(線膨張率 $\alpha$ ):  $9.3 \times 10^{-6}\ \text{K}^{-1}$ )とした以外は冷却ロールBと同様にして冷却ロールEを製造した。

【0218】冷却ロールとして冷却ロールEを用いた以外は、製造条件No. 1と同様にして、数ロットの急冷薄帯を製造した。得られた急冷薄帯について、アルゴンガス雰囲気中で、 $680^\circ\text{C} \times 5$ 分間の熱処理を施した後、製造条件No. 1と同様にして、各急冷薄帯の磁気特性を測定した。その中で最も高い磁気特性を有する急冷薄帯を粉砕し、さらに、 $650^\circ\text{C} \times 4$ 分間の熱処理を施し、平均粒径  $70\ \mu\text{m}$  の磁石粉末を得た。

【0219】なお、磁石粉末の製造過程で得られる急冷薄帯のロール面には、冷却ロールの周面の形状が転写され、凸条、溝が形成されていた。

【0220】＜製造条件No. 6＞表面層の構成材料をZrN ( $20^\circ\text{C}$ における熱伝導率:  $16.8\ \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot$  50

$\text{K}^{-1}$ 、 $20^\circ\text{C}$ における熱膨張率(線膨張率 $\alpha$ ):  $7.2 \times 10^{-6}\ \text{K}^{-1}$ )とした以外は冷却ロールBと同様にして冷却ロールFを製造した。

【0221】冷却ロールとして冷却ロールFを用いた以外は、製造条件No. 1と同様にして、数ロットの急冷薄帯を製造した。得られた急冷薄帯について、アルゴンガス雰囲気中で、 $680^\circ\text{C} \times 5$ 分間の熱処理を施した後、製造条件No. 1と同様にして、各急冷薄帯の磁気特性を測定した。その中で最も高い磁気特性を有する急冷薄帯を粉砕し、さらに、 $650^\circ\text{C} \times 4$ 分間の熱処理を施し、平均粒径  $70\ \mu\text{m}$  の磁石粉末を得た。

【0222】なお、磁石粉末の製造過程で得られる急冷薄帯のロール面には、冷却ロールの周面の形状が転写され、凸条、溝が形成されていた。

【0223】＜製造条件No. 7＞表面層の構成材料をTiC ( $20^\circ\text{C}$ における熱伝導率:  $25.2\ \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 、 $20^\circ\text{C}$ における熱膨張率(線膨張率 $\alpha$ ):  $8.0 \times 10^{-6}\ \text{K}^{-1}$ )とした以外は冷却ロールBと同様にして冷却ロールGを製造した。

【0224】冷却ロールとして冷却ロールGを用いた以外は、製造条件No. 1と同様にして、数ロットの急冷薄帯を製造した。得られた急冷薄帯について、アルゴンガス雰囲気中で、 $680^\circ\text{C} \times 5$ 分間の熱処理を施した後、製造条件No. 1と同様にして、各急冷薄帯の磁気特性を測定した。その中で最も高い磁気特性を有する急冷薄帯を粉砕し、さらに、 $650^\circ\text{C} \times 4$ 分間の熱処理を施し、平均粒径  $70\ \mu\text{m}$  の磁石粉末を得た。

【0225】なお、磁石粉末の製造過程で得られる急冷薄帯のロール面には、冷却ロールの周面の形状が転写され、凸条、溝が形成されていた。

【0226】＜製造条件No. 8＞表面層の構成材料をZrC ( $20^\circ\text{C}$ における熱伝導率:  $20.6\ \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 、 $20^\circ\text{C}$ における熱膨張率(線膨張率 $\alpha$ ):  $7.0 \times 10^{-6}\ \text{K}^{-1}$ )とした以外は冷却ロールBと同様にして冷却ロールHを製造した。

【0227】冷却ロールとして冷却ロールHを用いた以外は、製造条件No. 1と同様にして、数ロットの急冷薄帯を製造した。得られた急冷薄帯について、アルゴンガス雰囲気中で、 $680^\circ\text{C} \times 5$ 分間の熱処理を施した後、製造条件No. 1と同様にして、各急冷薄帯の磁気特性を測定した。その中で最も高い磁気特性を有する急冷薄帯を粉砕し、さらに、 $650^\circ\text{C} \times 4$ 分間の熱処理を施し、平均粒径  $70\ \mu\text{m}$  の磁石粉末を得た。

【0228】なお、磁石粉末の製造過程で得られる急冷薄帯のロール面には、冷却ロールの周面の形状が転写され、凸条、溝が形成されていた。

【0229】＜製造条件No. 9＞銅製のロール基材(直径 $200\ \text{mm}$ 、幅 $30\ \text{mm}$ 、 $20^\circ\text{C}$ における熱伝導率:  $395\ \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 、 $20^\circ\text{C}$ における熱膨張率(線膨張率 $\alpha$ ):  $16.5 \times 10^{-6}\ \text{K}^{-1}$ )を用意し、そ

の周面に切削加工を施し、ほぼ鏡面（表面粗さ  $R_a$  0.07  $\mu\text{m}$ ）とした。

【0230】その後、溝を設けずに、そのままVNの表面層（20℃における熱伝導率：11.3  $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 、20℃における熱膨張率（線膨張率 $\alpha$ ）：9.2  $\times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ ）をイオンプレーティングにより形成し、冷却ロールIを製造した。

【0231】冷却ロールとして冷却ロールIを用いた以外は、製造条件No. 1と同様にして、数ロットの急冷薄帯を製造した。得られた急冷薄帯について、アルゴンガス雰囲気中で、680℃ $\times$ 5分間の熱処理を施した後、製造条件No. 1と同様にして、各急冷薄帯の磁気特性を測定した。その中で最も高い磁気特性を有する急冷薄帯を粉砕し、さらに、650℃ $\times$ 4分間の熱処理を施し、平均粒径70  $\mu\text{m}$ の磁石粉末を得た。

【0232】なお、磁石粉末の製造過程で得られる急冷薄帯のロール面には、凸条、溝は形成されておらず、面積2000  $\mu\text{m}^2$ 以上の巨大ディンプルの存在が数多く認められた。

【0233】＜製造条件No. 10＞銅製のロール基材（直径200mm、幅30mm、20℃における熱伝導率：395  $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 、20℃における熱膨張率（線膨張率 $\alpha$ ）：16.5  $\times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ ）を用意し、その周面に切削加工を施し、ほぼ鏡面（表面粗さ  $R_a$  0.07  $\mu\text{m}$ ）とした。

【0234】その後、さらに切削加工を施し、ロール基\*

\*材の回転方向に対し、ほぼ平行な溝（平均ピッチ：120  $\mu\text{m}$ ）をガス流路として形成し、冷却ロールJを得た。

【0235】冷却ロールとして冷却ロールJを用いた以外は、製造条件No. 1と同様にして、数ロットの急冷薄帯を製造した。得られた急冷薄帯について、アルゴンガス雰囲気中で、680℃ $\times$ 5分間の熱処理を施した後、製造条件No. 1と同様にして、各急冷薄帯の磁気特性を測定した。その中で最も高い磁気特性を有する急冷薄帯を粉砕し、さらに、650℃ $\times$ 4分間の熱処理を施し、平均粒径70  $\mu\text{m}$ の磁石粉末を得た。

【0236】なお、磁石粉末の製造過程で得られる急冷薄帯のロール面には、冷却ロールの周面の形状が転写され、凸条、溝が形成されていた。

【0237】各製造条件で用いた冷却ロールについて、ガス流路（溝）の幅 $L_1$ （平均値）、深さ $L_2$ （平均値）、並設されたガス流路のピッチ $P$ （平均値）、ガス流路の長手方向と冷却ロールの回転方向とのなす角 $\theta$ 、冷却ロールの周面上におけるガス流路の占める投影面積の割合、周面の溝を除く部分の表面粗さ  $R_a$  の測定値を表1に示す。また、製造条件No. 1～No. 10のそれぞれについて、最も高い磁気特性を有する急冷薄帯が得られたときの冷却ロールの周速度も併せて示す。

【0238】

【表1】

冷却ロールの諸条件

製造条件 No.	冷却 ロール	幅 $L_1$ の 平均値 ( $\mu\text{m}$ )	深さ $L_2$ の 平均値 ( $\mu\text{m}$ )	$L_1/L_2$	平均ピッチ $P$ ( $\mu\text{m}$ )	$\theta$	ガス流路の占める 面積の割合 (%)	表面粗さ $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	周速度 (m/秒)
1(本発明)	A	9.2	3.2	2.9	10.0	0°	92	0.15	33
2(本発明)	B	5.0	5.0	1.0	12.5	3°	40	0.20	27
3(本発明)	C	9.5	2.5	3.8	15.0	$\theta_1=15^\circ$ $\theta_2=15^\circ$	63	0.14	28
4(本発明)	D	20.0	4.5	4.4	30.0	$\theta_1=10^\circ$ $\theta_2=18^\circ$	67	0.22	30
5(本発明)	E	15.0	1.8	8.3	30.0	5°	50	0.20	21
6(本発明)	F	6.4	3.2	2.0	8.0	20°	80	0.18	26
7(本発明)	G	9.2	1.5	6.1	10.0	10°	92	0.10	31
8(本発明)	H	20.0	1.8	11.1	30.0	15°	67	0.12	18
9(比較例)	I	—	—	—	—	—	—	0.09	21
10(比較例)	J	12.0	2.0	6.0	120.0	0°	10	0.08	12

【0239】このようにして得られた各磁石粉末の表面に形成された凸条の高さ、長さ、および並設された凸条のピッチを測定した。また、走査型電子顕微鏡（SEM）による観察の結果から、各磁石粉末について、全表面積に対し、凸条または溝の形成された部分の面積が占める割合を求めた。これらの値を表2に示す。

【0240】また、各磁石粉末について、その相構成を分析するため、Cu-K $\alpha$ を用い回折角20°～60°にてX線回折を行った。回折パターンから、ハード磁性相である $\text{R}_2$ （Fe-CO） $\beta$  B型相と、ソフト磁性相である $\alpha$ -（Fe, Co）型相の回折ピークが確認で

き、透過型電子顕微鏡（TEM）による観察結果から、いずれも、複合組織（ナノコンポジット組織）を形成していることが確認された。また、各磁石粉末について、各相の平均結晶粒径を測定した。これらの値を表2に示す。

【0241】さらに、各磁石粉末について、振動試料型磁力計を用いて、磁気特性を測定した。残留磁束密度 $B_r$ 、最大磁気エネルギー積（BH） $_{\text{max}}$ 、および保磁力 $H_d$ の測定値を表3に示す。

【0242】

【表2】

磁石粉末についての各種測定値

製造条件 No.	平均粒径 D ( $\mu\text{m}$ )	凸条の 平均高さ ( $\mu\text{m}$ )	凸条の 平均長さ ( $\mu\text{m}$ )	並設された凸条の 平均ピッチ ( $\mu\text{m}$ )	磁石粉末の全表面積に対して 凸条または溝の形成された部分の 面積が占める割合 (%)	平均結晶粒径 (nm)	
						ハード 磁性相	ソフト 磁性相
1(本発明)	70	1.8	35	10.0	85	25	14
2(本発明)	70	3.7	50	12.5	37	34	24
3(本発明)	70	1.0	29	15.0	52	30	20
4(本発明)	70	2.2	44	30.0	60	31	19
5(本発明)	70	0.9	19	30.0	45	36	27
6(本発明)	70	1.7	31	8.0	73	40	30
7(本発明)	70	0.6	8	10.0	86	26	15
8(本発明)	70	0.8	15	30.0	60	43	32
9(比較例)	70	—	—	—	—	60	48
10(比較例)	70	1.0	28	120.0	8	55	47

【0243】

【表3】

磁石粉末の磁気特性

製造条件 No.	$H_{cJ}$ ( $\text{kA/m}$ )	$B_r$ (T)	$(BH)_{\text{max}}$ ( $\text{kJ/m}^3$ )
1(本発明)	573	1.05	160
2(本発明)	561	1.02	151
3(本発明)	568	1.03	155
4(本発明)	577	1.03	157
5(本発明)	572	1.01	149
6(本発明)	546	0.97	140
7(本発明)	564	1.04	158
8(本発明)	549	0.96	136
9(比較例)	243	0.78	68
10(比較例)	195	0.73	62

【0244】表3から明らかなように、製造条件No. 1～No. 8（いずれも本発明）で製造された磁石粉末は、優れた磁気特性を有している。これは、以下のような理由によるものであると推定される。

【0245】製造条件No. 1～No. 8で用いられた冷却ロールA～Hの周面には、ガス抜き手段としてのガス流路が形成されている。そのため、周面とパドルとの間に侵入したガスが効率よく排出され、周面とパドルとの密着性が向上し、急冷薄帯のロール面への巨大ディンプルの発生が防止または抑制され、各部位における冷却速度のバラツキが小さくなる。さらに、周面上に形成されたガス流路の平均ピッチP [ $\mu\text{m}$ ] と、磁石粉末の平均粒径D [ $\mu\text{m}$ ] との間で、 $P < D$  の関係を満足することにより、各磁石粉末間での組織差（結晶粒径のバラツキ）、磁気特性のバラツキが小さくなり、その結果磁石粉末全体としての磁気特性を向上するものと考えられる。

【0246】これに対し、製造条件No. 9、No. 10（いずれも比較例）で製造された磁石粉末では、低い磁気特性しか得られていない。これは、以下のような理由によるものであると推定される。

【0247】製造条件No. 9で用いられた冷却ロールIには周面上にガス流路が設けられていない。このため、周面と溶湯のパドルとの密着性が低下することにより、周面とパドルとの間にガスが侵入する。周面とパドルとの間に侵入したガスは、そのまま残留し、急冷薄帯

のロール面に巨大なディンプルが形成される。このため、周面に密着した部位に比べ、ディンプルが形成された部位では冷却速度は低下し、結晶粒径の粗大化が起こる。その結果、得られる急冷薄帯の磁気特性のバラツキは大きくなる。このため、急冷薄帯を粉砕して得られる磁石粉末は、全体としての磁気特性が低くなるものと考えられる。

【0248】製造条件No. 10で用いられた冷却ロールJにはガス流路が設けられている。このため、急冷薄帯の製造時における、冷却ロールの周面と、溶湯のパドルとの密着性は、比較的優れている。しかし、この急冷薄帯を粉砕して得られる磁石粉末の平均粒径D [ $\mu\text{m}$ ] が、ガス流路の平均ピッチP [ $\mu\text{m}$ ] より小さいため、各磁石粉末間での組織差（結晶粒径のバラツキ）が大きくなる。このため、各磁石粉末間での磁気特性のバラツキが大きくなり、全体としての磁気特性が低くなるものと考えられる。

【0249】（実施例2）実施例1で得られた各磁石粉末に、エポキシ樹脂と、少量のヒドラジン系酸化防止剤とを混合し、これらを100℃×10分間混練（温間混練）して、ボンド磁石用組成物（コンパウンド）を作製した。

【0250】このとき、磁石粉末、エポキシ樹脂、ヒドラジン系酸化防止剤の配合比率（重量比率）は、それぞれ97.5wt%、1.3wt%、1.2wt%とした。

【0251】次いで、このコンパウンドを粉砕して粒状とし、この粒状物を秤量してプレス装置の金型内に充填し、無磁場中にて、温度120℃、圧力600MPaで圧縮成形（温間成形）してから冷却し、離型した後、175℃でエポキシ樹脂を加熱硬化させ、直径10mm×高さ7mmの円柱状のボンド磁石（磁気特性、耐熱性試験用）と、10mm角×厚さ3mmの平板状のボンド磁石（機械的強度測定用）とを得た。なお、平板状ボンド磁石は各磁石粉末毎に5個づつ作製した。

【0252】製造条件No. 1～No. 8（本発明）によるボンド磁石は、良好な成形性で製造することができた。

【0253】円柱状の各ボンド磁石について、磁場強度

3. 2MA/m のパルス着磁を施した後、直流自記磁束計（東英工業（株）製、TRF-5BH）にて最大印加磁場 2.0MA/m で磁気特性（保磁力  $H_c$ 、磁束密度  $B_r$  および最大磁気エネルギー積  $(BH)_{max}$ ）を測定した。測定時の温度は、23℃（室温）であった。

【0254】次に、耐熱性（熱的安定性）の試験を行った。この耐熱性は、各ボンド磁石を 100℃×1 時間の環境下に保持した後、室温まで戻した際の不可逆減磁率（初期減磁率）を測定し、評価した。不可逆減磁率（初期減磁率）の絶対値が小さいほど、耐熱性（熱的安定性）に優れる。

【0255】さらに、平板状の各ボンド磁石について、打ち抜きせん断試験により機械的強度を測定した。試験\*

ボンド磁石についての各種測定値

製造条件 No.	$H_c$ (kA/m)	$B_r$ (T)	$(BH)_{max}$ (kJ/m <sup>3</sup> )	不可逆減磁率 (%)	機械的強度 (MPa)
1(本発明)	570	0.90	123	-1.9	92
2(本発明)	558	0.87	115	-2.7	78
3(本発明)	566	0.87	116	-2.2	83
4(本発明)	574	0.88	119	-1.8	85
5(本発明)	569	0.85	110	-2.0	80
6(本発明)	543	0.84	100	-3.1	89
7(本発明)	561	0.88	121	-2.4	93
8(本発明)	546	0.83	98	-3.0	85
9(比較例)	240	0.69	43	-12.5	43
10(比較例)	190	0.65	38	-14.8	60

【0258】表 4 から明らかなように、製造条件 No. 1～No. 8 によるボンド磁石では、磁気特性、耐熱性、機械的強度のいずれもが優れているのに対し、製造条件 No. 9、No. 10 によるボンド磁石では磁気特性が低く、製造条件 No. 9 によるボンド磁石では、機

【0259】製造条件 No. 1～No. 8 によるボンド磁石は、磁気特性が高くかつ磁気特性のパラツキの小さい急冷薄帯から得られる磁石粉末を用いて製造されたものであるため、このような磁石粉末を用いて製造されたボンド磁石も高い磁気特性を有している。さらに、磁石粉末の表面に凸条が並設されているため、この凸条間に結合樹脂が効率よく埋入している。このため、磁石粉末と結合樹脂との結着力が増し、少ない結合樹脂量でも、高い機械的強度が得られる。また、用いられる結合樹脂量が少ないため、ボンド磁石の密度が大きくなり、結果として、磁気特性も高くなる。

【0260】一方、製造条件 No. 9、No. 10 によるボンド磁石は、磁気特性の低い急冷薄帯から得られる磁石粉末を用いて製造されたものであるため、このような磁石粉末を用いて製造されたボンド磁石の磁気特性も低くなっている。また、製造条件 No. 9 によるボンド磁石では、磁石粉末の表面に凸条、溝が形成されていないため、磁石粉末と結合樹脂との結着力が本発明のボン

\* 機には、（株）島津製作所製オートグラフを用い、円形ポンチ（外径 3mm）により、せん断速度 1.0mm/分で行った。

【0256】また、機械的強度の測定後、走査型電子顕微鏡（SEM）を用いて各ボンド磁石の破断面の様子を観察した。その結果、製造条件 No. 1～No. 8（本発明）によるボンド磁石では、並設された凸条間に結合樹脂が効率よく埋入している様子が確認された。磁気特性の測定、耐熱性の試験、機械的強度の測定の結果を表 4 に示す。

【0257】

【表 4】

ている。

【0261】

【発明の効果】以上述べたように、本発明によれば、次のような効果が得られる。

【0262】・冷却ロールの周面にガス流路（ガス抜き手段）が設けられているため、周面と溶湯のパドルとの密着性が向上し、高い磁気特性が安定して得られる。

【0263】・ガス流路の平均ピッチ  $P$  [ $\mu$ m] と、磁石粉末の平均粒径  $D$  [ $\mu$ m] との間で、 $P < D$  の関係を満足することにより、各磁石粉末間での磁気特性のパラツキが小さくなり、結果として、磁石粉末全体としての磁気特性が向上する。

【0264】・表面層の形成材料、厚さ、ガス抜き手段の形状等を好適な範囲に設定することにより、さらに優れた磁気特性が得られる。

【0265】・磁石粉末がソフト磁性相とハード磁性相とを有する複合組織で構成されることにより、磁化が高く、優れた磁気特性を発揮する。特に本発明により、固有保磁力と角型性が改善される。

【0266】・高い磁束密度が得られるので、等方性であっても、高磁気特性を持つボンド磁石が得られる。特に、従来の等方性ボンド磁石に比べ、より小さい体積のボンド磁石で同等以上の磁気性能を発揮することができるので、より小型で高性能のモータを得ることが可能となる。

【0267】・磁石粉末の表面の少なくとも一部に、凸

条または溝が形成されている場合、磁石粉末と結合樹脂との結着力がさらに向上し、特に高い機械的強度のボンド磁石が得られる。

【0268】・少ない結合樹脂量でも、成形性が良く、高い機械的強度のボンド磁石が得られるため、磁石粉末の含有量（含有率）を多くすることが可能となり、また、空孔率も低減され、結果として、高い磁気特性のボンド磁石が得られる。

【0269】・磁石粉末と結合樹脂との密着性が高いので、高密度のボンド磁石においても、高い耐食性を有する。

【0270】・着磁性が良好なので、より低い着磁磁場で着磁することができ、特に多極着磁等を容易かつ確実に行うことができ、かつ高い磁束密度を得ることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の冷却ロールの第1実施形態と、その冷却ロールを用いて薄带状磁石材料を製造する装置（急冷薄帯製造装置）の構成例とを模式的に示す斜視図である。

【図2】図1に示す冷却ロールの正面図である。

【図3】図1に示す冷却ロールの周面付近の断面形状を模式的に示す図である。

【図4】図1に示す急冷薄帯製造装置における溶湯の冷却ロールへの接触部位付近の状態を模式的に示す断面図である。

【図5】ガス流路の形成方法を説明するための図である。

【図6】ガス流路の形成方法を説明するための図である。

【図7】本発明の磁石粉末における複合組織（ナノコンポジット組織）の一例を模式的に示す図である。

【図8】本発明の磁石粉末における複合組織（ナノコンポジット組織）の一例を模式的に示す図である。

【図9】本発明の磁石粉末における複合組織（ナノコンポジット組織）の一例を模式的に示す図である。

【図10】図1に示す薄带状磁石材料を製造する装置（急冷薄帯製造装置）で製造された薄带状磁石材料の表面形状を模式的に示す斜視図である。

【図11】図1に示す薄带状磁石材料を製造する装置（急冷薄帯製造装置）で製造された薄带状磁石材料を粉碎して得られる磁石粉末の表面形状を模式的に示す図である。

【図12】本発明の冷却ロールの第2実施形態を模式的に示す正面図である。

【図13】図12に示す冷却ロールの周面付近の断面形状を模式的に示す図である。

【図14】本発明の冷却ロールの第3実施形態を模式的

に示す正面図である。

【図15】図14に示す冷却ロールの周面付近の断面形状を模式的に示す図である。

【図16】本発明の冷却ロールの第4実施形態を模式的に示す正面図である。

【図17】図16に示す冷却ロールの周面付近の断面形状を模式的に示す図である。

【図18】本発明の冷却ロールの他の実施形態を模式的に示す正面図である。

【図19】本発明の冷却ロールの他の実施形態の周面付近の断面形状を模式的に示す図である。

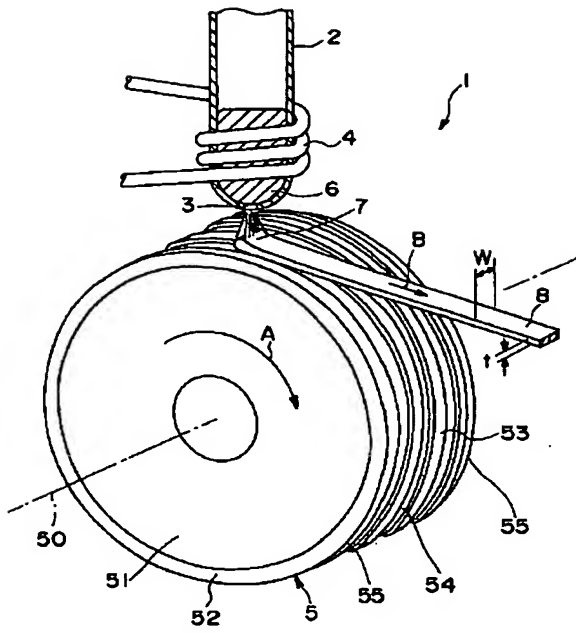
【図20】本発明の冷却ロールの他の実施形態の周面付近の断面形状を模式的に示す図である。

【図21】従来の薄带状磁石材料を単ロール法により製造する装置（急冷薄帯製造装置）における溶湯の冷却ロールへの衝突部位付近の状態を示す断面側面図である。

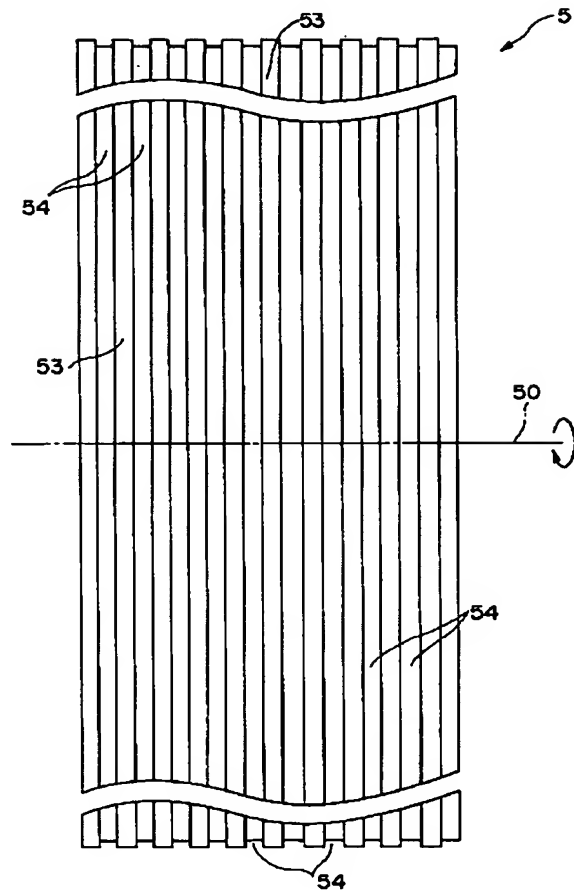
#### 【符号の説明】

1	急冷薄帯製造装置
2	筒体
3	ノズル
4	コイル
5、500	冷却ロール
50	回転軸
51	ロール基材
511	部位
512	部位
52	表面層
521	部位
522	部位
53、530	周面
54	ガス流路
55	縁部
56	開口部
57	空孔
6、60	溶湯
7、70	パドル
710	凝固界面
8、80	急冷薄帯
81、810	ロール面
82	フリー面
83	凸条
84	溝
9	ディンプル
10	ソフト磁性相
11	ハード磁性相
12	磁石粉末
13	凸条
14	溝

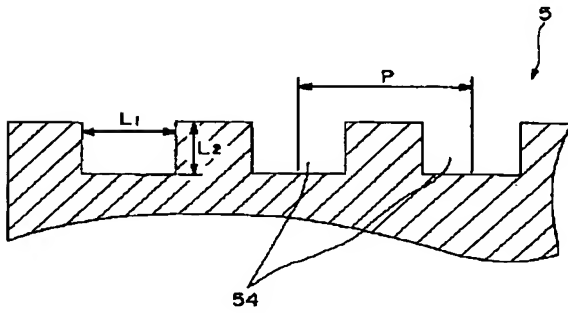
【図1】



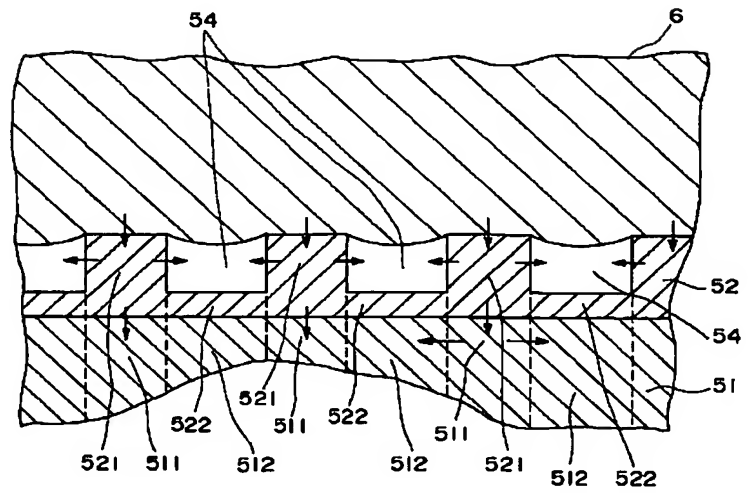
【図2】



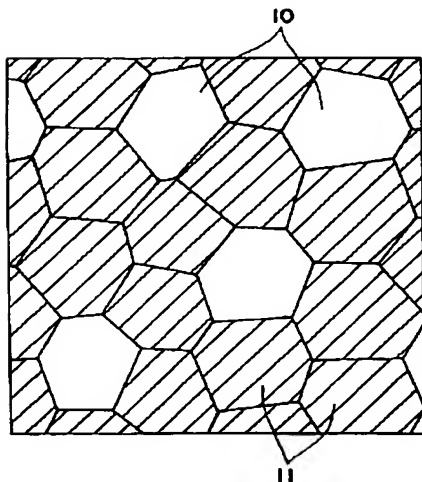
【図3】



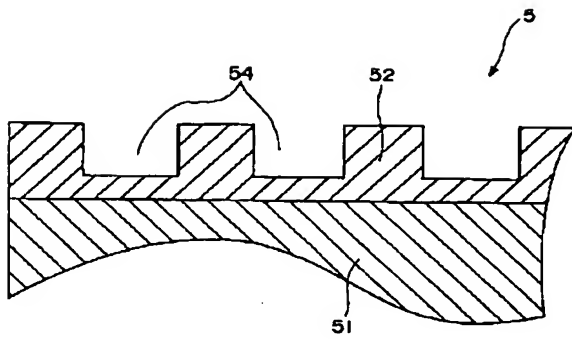
【図4】



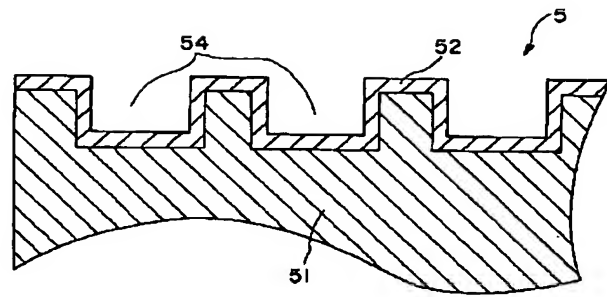
【図7】



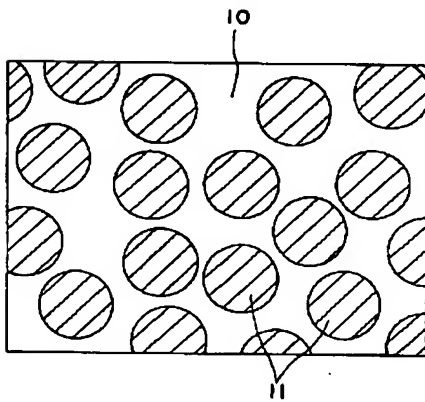
【図 5】



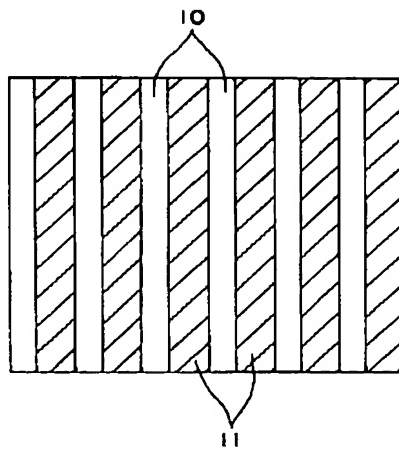
【図 6】



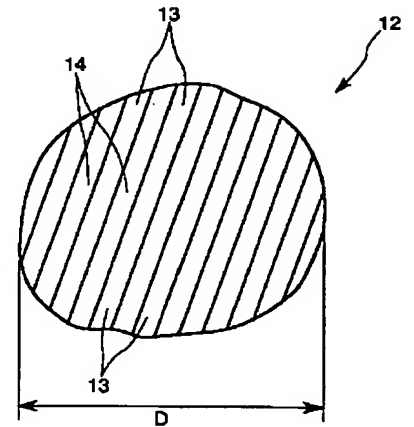
【図 8】



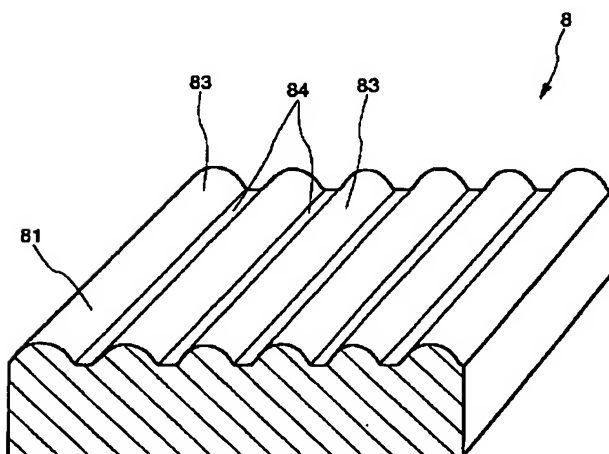
【図 9】



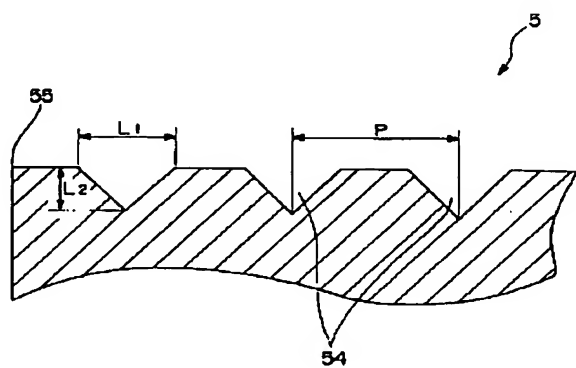
【図 11】



【図 10】

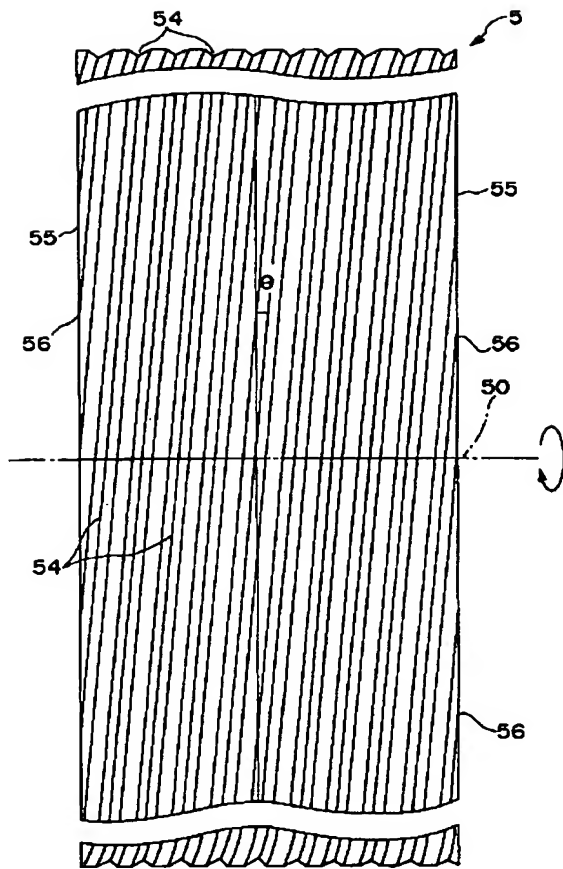


【図 13】

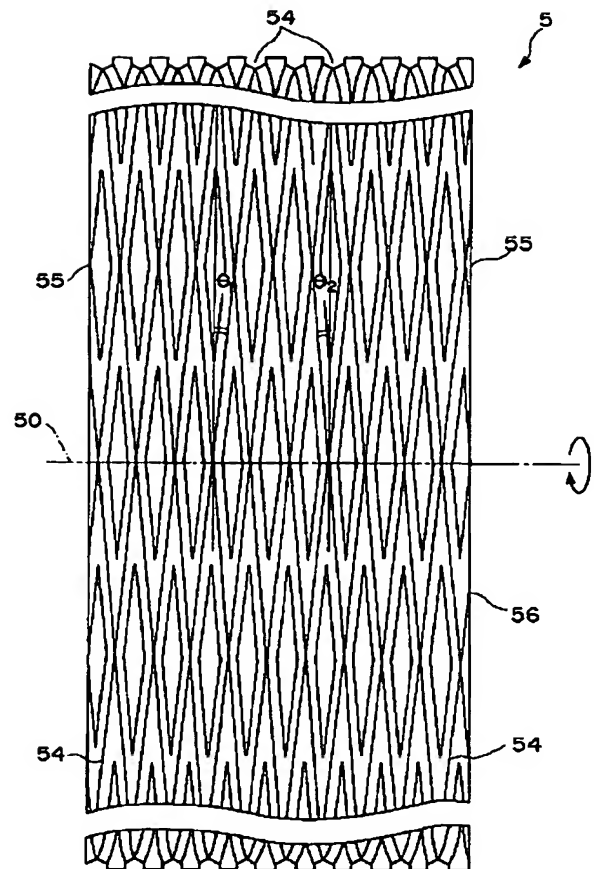




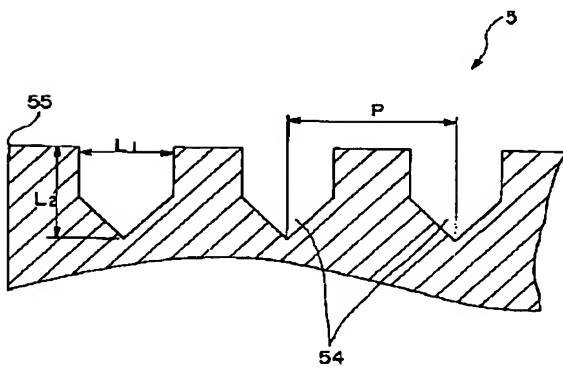
【図 12】



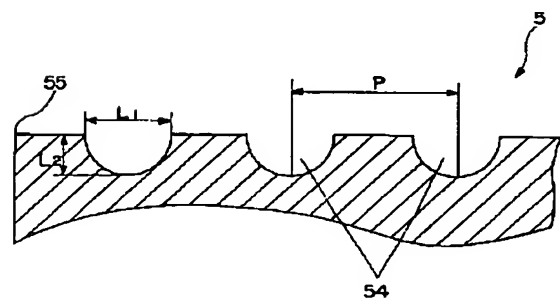
【図 14】



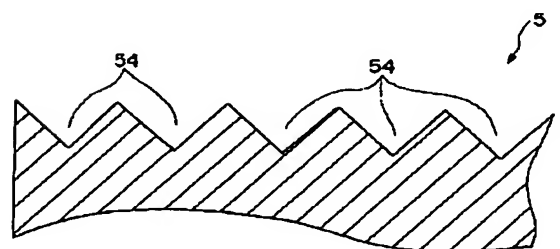
【図 15】



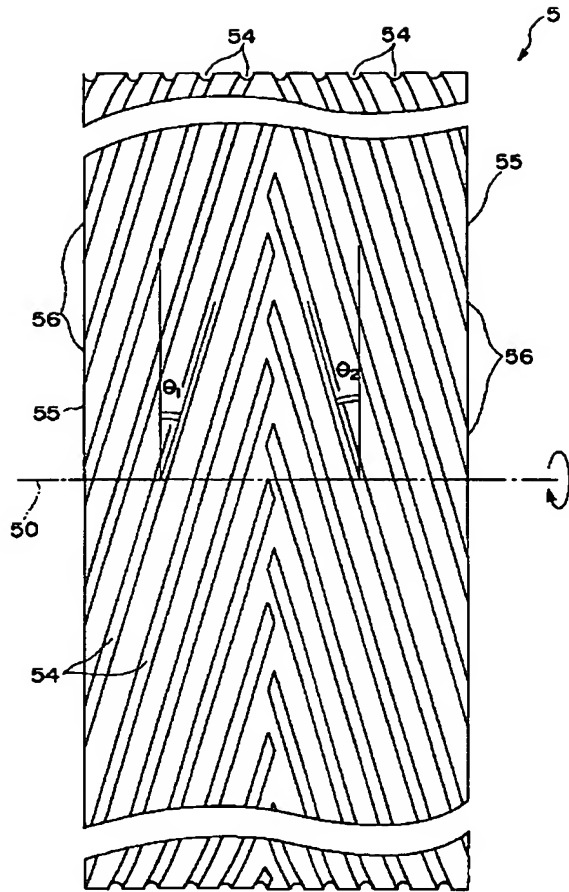
【図 17】



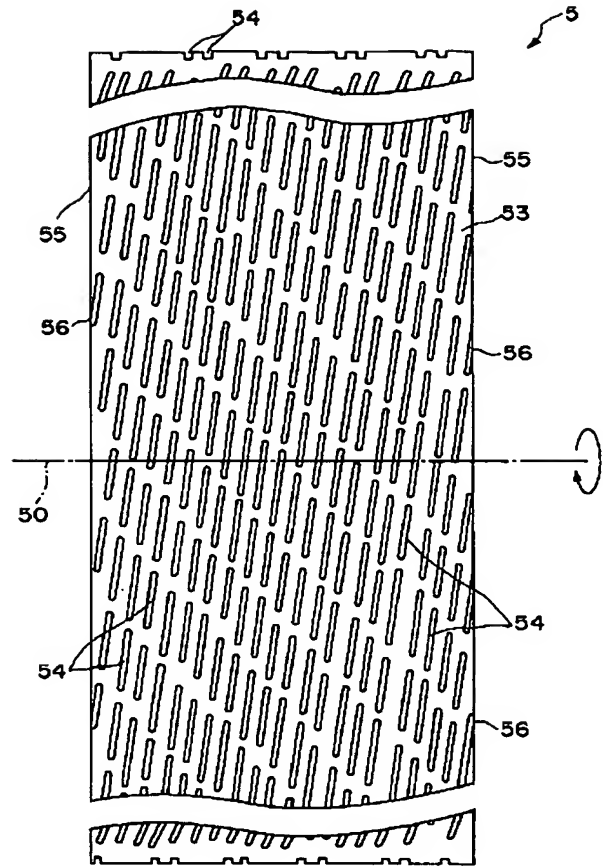
【図 19】



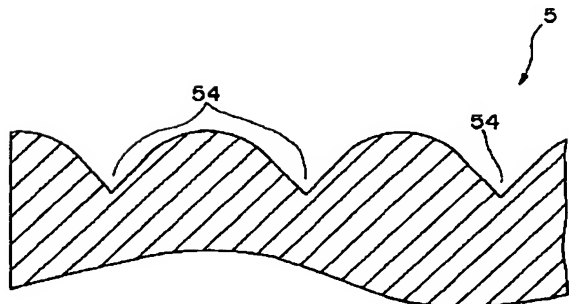
【図 16】



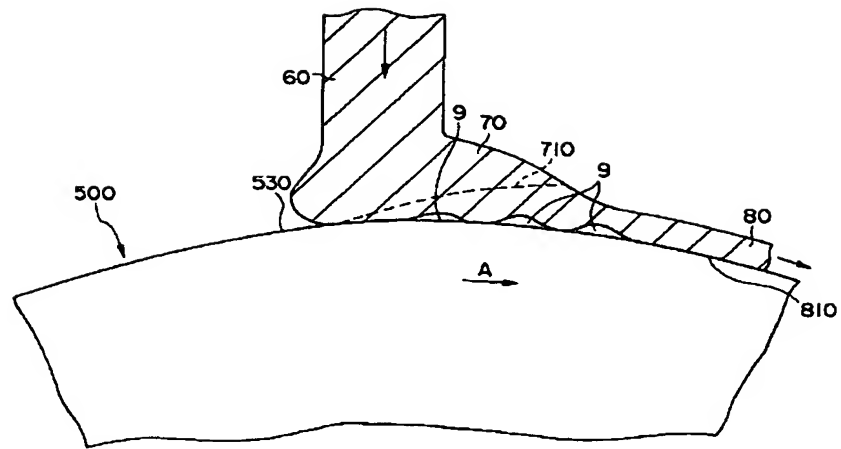
【図 18】



【図 20】



【図 21】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード (参考)
B 2 2 F 3/00		B 2 2 F 9/04	E
9/04			C
C 2 2 C 1/02	5 0 1	C 2 2 C 1/02	5 0 1 E
H 0 1 F 1/08		H 0 1 F 1/08	A
		1/06	A

F ターム (参考) 4E004 DB02 TA01 TA03  
 4K017 AA04 BA03 BA06 BB12 CA07  
 DA02 EA04 EA05 FA02 FA03  
 4K018 AA11 AA27 BA05 BA18 BB04  
 BB06 BC01 BC02 BC12 BD01  
 CA09 CA11 CA29 CA31 KA46  
 5E040 AA03 AA04 AA06 BB04 BB05  
 HB07 HB17 HB19 NN01 NN12  
 NN14 NN17